



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학박사 학위논문

응용광물학적 활용을 위한 주요 산지별
전기석의 특성 연구



2013년 2월

부경대학교 대학원

환경지질학과

엄결(嚴潔) Yan Jie

이학박사 학위논문

응용광물학적 활용을 위한 주요 산지별
전기석의 특성 연구



지도교수 박 맹 언

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

2013년 2월

부경대학교 대학원

환경지질학과

엄결(嚴潔) Yan Jie

엄결(嚴潔) Yan Jie의 이학박사 학위논문을
인준함

2013년 2월



주심 이학박사 김영석 ㉠

부심 이학박사 최정찬 ㉠

위원 이학박사 김진섭 ㉠

위원 이학박사 박희율 ㉠

위원 이학박사 박맹언 ㉠

목 차

List of Tables	v
List of Figures	viii
Abstract	xiii
 제1장 서 언	 1
1.1. 연구 배경	1
1.2. 연구 내용 및 목적	2
1.3. 전기석의 용도	3
 제2장 전기석의 광물학적 특성	 5
2.1. 전기석의 분류	5
2.2. 전기석의 물리학적 성질	8
2.2.1. 전기석의 결정학적 성질	8
2.2.2. 전기석의 분광학적 성질	11
2.3. 전기석의 화학적 성질	12
2.4. 전기석의 보석광물학적 성질	14
 제3장 연구 재료	 18
3.1. 전기석의 산출특성	18
3.1.1. 중국산 전기석	19
3.1.2. 브라질산 전기석	19
3.1.3. 한국산 전기석	20

3.2. 대조군 옥광물	20
제4장 연구 방법	23
4.1. 조직 및 광학적 분석	24
4.2. 결정학적 분석	24
4.3. 화학조성 분석	25
4.3.1. 주성분 및 부성분 원소	25
4.3.2. 미량 원소	25
4.4. pH-Eh(DO) 조절 기능 분석	26
4.5. 분광학적 분석	28
4.5.1. 푸리에 변환 적외선 분광(FT-IR) 분석	28
4.5.2. 원적외선 분광(IR) 분석	28
4.6. 핵자기 공명(NMR) 분석	30
4.7. 음이온 분석	31
4.8. 건강증진 용도의 임상학적 분석	32
4.8.1. 체온, 혈압 및 맥박의 측정	32
4.8.2. 전기석 비누의 피부 영향 측정	33
제5장 연구 결과	35
5.1. 광물의 구조와 광학적 특성	35
5.2. 결정학적 특성	42
5.3. 화학적 특성	46
5.3.1. 주성분 원소 및 부성분 원소	46

5.3.2. 미량 원소	54
5.4. pH-Eh(DO) 조절 작용	59
5.5. 분광학적 특성	72
5.5.1. 푸리에 변환 적외선 분광 특성	72
5.5.2. 원적외선 방사 특성	75
5.6. 핵자기 공명 분석(NMR)의 결과	77
5.7. 음이온의 발생 특성	83
5.8. 건강증진 용도를 위한 임상적 결과	89
5.8.1. 체온, 혈압 및 맥박에 미치는 영향	89
5.8.2. 전기석 비누의 피부 영향 측정 결과	96
제6장 토의	99
6.1. 화학조성과 결정학적 특성과의 상관성	99
6.2. 화학조성과 분광학적 특성과의 상관성	100
6.3. 결정학적 특성과 분광학적 에너지와의 상관성	105
6.4. 분광학적 에너지와 핵자기 공명 결과와의 상관성	109
6.5. 음이온 함량과 분광학적 특성간의 관계	111
6.6. pH - Eh(DO) 조절 특성	115
6.7. 전기석과 옥 광물의 방사 및 분광 에너지 비교	116
6.8. 전기석과 옥 광물의 방사에너지 및 인체 반응	118
6.9. 전기석의 의료광물학적 활용성	120

제7장 결론	123
참고문헌	125
요약	135
학위과정 연구	139
감사의 글	140



LIST OF TABLES

Table 1. End—members of common tourmaline group (Henry and Guidott, 1985).	7
Table 2. Dielectric constant of jewel tourmaline.	11
Table 3. Color formation of jewel tourmaline.	13
Table 4. End-member species of current tourmaline accepted by IMA(modified from Hawthorne and Henry, 1999).	16
Table 5. Additional hypothetical tourmaline species inferred from probable site occupancies that are not currently recognized by IMA(modified from Hawthorne and Henry, 1999).	17
Table 6. Specimen characteristics of the studied tourmalines (CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, BT1, BT2 and DT1) and jades(CN, KN, RN, LS, NS and CA).	21
Table 7. Analytical condition of Ion Chromatography.	32
Table 8. High-intensity reflections of the CT1, BT1, BT2 and DT1.	45
Table 9. The cell parameters of tourmaline from the different location.	45
Table 10. Electron microprobe analyses of tourmaline from China (CT1 CT2, CT3, CT4 and CT5), Brazil(BT1 and BT2), and Korea(DT1).	47

Table. 11. CaO/CaO+Na ₂ O and MgO/FeO+MgO ratios of the studied tourmalines.	53
Table 12. Chemical concentrations(ppm) of trace elements in tourmaline, nephrite, serpentine and agate determined by inductively coupled plasma mass spectroscopy(ICP).	56
Table 13. DO variations of distilled water changed with reaction time for studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), nephrites(RN and CN), serpentine(NS and LS) powder.	60
Table 14. pH variations of distilled water changed with reaction time for studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), nephrites(RN and CN), serpentine(NS and LS) powder.	62
Table 15. pH variations of running water changed with reaction time for studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), serpentine(NS) powder.	64
Table 16. DO variation of distilled water after react with tourmaline and serpentine grains.	66
Table 17. pH variation of distilled water after react with tourmaline and serpentine grains.	68
Table 18. pH variations of water changed with reaction time for studied tourmaline, nephrite and serpentine powder.	

.....	70
Table 19. Infra-red emissivity of tourmaline, nephrite, serpentine, and agate.	76
Table 20. ^{17}O -NMR spectra results of tourmaline, nephrite and serpentine reacted with distilled water.	79
Table 21. ^{17}O -NMR spectra results of CT1 tourmaline reacted with distilled water.	82
Table 22. Anion concentration(ppm) react with tourmaline, nephrite and serpentine powder.	86
Table 23. Anion concentration(ppm) react with tourmaline and agate grain.	88
Table 24. The clinical results from tourmaline sauna study.	90
Table 25. The clinical results from serpentine sauna study.	93
Table 26. After application of the tourmaline soap for 6 monthes.	97

LIST OF FIGURES

Figure. 1. Tourmaline structure modules(modified after Weiner and Glas, 1985).	10
Figure. 2. Photographs of tourmaline from China, Brazil and Korea.	22
Figure. 3. Spectrum analysis of electromagnetic waves.	30
Figure. 4. Microphotographs of tourmaline from China(CT1), Brazil(BT1 and BT2) and Korea (DT1).	38
Figure. 5. Microphotographs of nephrite from A : Korea(KN) and B : North Korea(NS).	39
Figure. 6. Microphotographs of serpentine from China(CN and LS), Russia(RN) and North Korea(NS).	40
Figure. 7. Microphotographs serpentine(LS) and agate(CA).	41
Figure. 8. X-ray diffraction patterns of the studied CT1 and DT1 tourmalines.	43
Figure. 9. X-ray diffraction patterns of the studied BT1 and BT2 tourmalines.	44
Figure. 10. Major element combination of the studied specimens from the different locality.	48
Figure. 11. Major element combination of the studied specimens from the different locality.	49

Figure. 12. Major element combination of the studied specimens from the different locality.	50
Figure. 13. Major element combination of the studied specimens from the different locality.	51
Figure. 14. Major element combination of the studied specimens from the different locality.	52
Figure. 15. Linear regression analysis between composition ratios of the studied tourmalines.	54
Figure. 16. Concentrations(ppm) of Ni, Zr, Co and Ga in the tourmaline, nephrite, serpentine and agate.	57
Figure. 17. Concentrations(ppm) of Cr, Zn and Cu in the tourmaline, nephrite, serpentine and agate.	57
Figure. 18. DO variations of distilled water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), nephrite(RN and CN) and serpentine(LS and NS,) powders.	61
Figure. 19. pH variations of distilled water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), nephrite(RN and CN) and serpentine(LS and NS) powders.	63
Figure. 20. pH variations of distilled water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), serpentine(NS) powders.	65

Figure. 21. pH variation of distilled water after reacted with tourmaline and serpentine grains.	67
Figure. 22. DO variation of distilled water after reacted with tourmaline and serpentine grains.	69
Figure. 23. pH variations of water changed with reaction time for the studied tourmaline, nephrite and serpentine powders.	71
Figure. 24. FT-Raman transmission spectra of the tourmaline(CT1).	73
Figure. 25. FT-Raman transmission spectra of the tourmaline(BT1).	74
Figure. 26. FT-Raman transmission spectra of the tourmaline(DT1).	74
Figure. 27. Infra-red emissivity of tourmaline, nephrite and serpentine.	77
Figure. 28. ^{17}O -NMR nuclear magnetic resonance(NMR) spectra for distilled water reacted with the different tourmalines(CT1, BT1, BT2 and DT1).	80
Figure. 29. ^{17}O -NMR nuclear magnetic resonance(NMR) spectra for distilled water reacted with the different tourmalines(LS, RN, NS and CN).	81
Figure. 30. ^{17}O -NMR spectra result of the tourmaline(CT1) reacted with distilled water.	83

Figure. 31. Histogram for the anion concentration(ppm) reacted with tourmaline, nephrite, and serpentine powders.	87
Figure. 32. Histogram for the anion concentration(ppm) reacted with tourmaline and agate grains.	88
Figure. 33. The clinical results group A from the tourmaline sauna study	91
Figure. 34. The clinical results group B from the tourmaline sauna study	92
Figure. 35. The clinical results group C from the tourmaline sauna study	92
Figure. 36. The clinical results group A from the serpentine sauna study	94
Figure. 37. The clinical results group B from the serpentine sauna study	95
Figure. 38. The clinical results group C from the serpentine sauna study	95
Figure. 39. Effectivity after application of the tourmaline soap for 6 monthes.	98
Figure. 40. Relation between Fe, Al, Mg, Si and B contents and IR intensities of the studied the tourmaline powders.	102
Figure. 41. Relation between F^- , Cl^- and SO_4^{2-} contents and IR	

intensities of the studied the tourmaline grains.	103
Figure. 42. Relation between F^- , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^{2-} contents and IR intensities of the studied the tourmaline powders.	104
Figure. 43. Relation between a and c parameter and IR intensities of the studied the tourmalines.	107
Figure. 44. Relation between NMR values and a and c parameter of the studied the tourmaline powders. ..	108
Figure. 45. Relation between NMR contents and IR intensities of the studied the tourmaline powders.	110
Figure. 46. Relations between F^- , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^{2-} , contents and intensities of the studied the tourmaline grains.	112
Figure. 47. Relations between F^- , Cl^- and SO_4^{2-} contents respectively, and IR intensities of the studied the tourmaline powders.	113
Figure. 48. Relation between F^- , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^{2-} contents respectively, and IR intensities of the studied the tourmaline powders.	114
Figure. 49. Relation between NMR, contents and emissivity of the studied the tourmaline powders.	117

Investigation on the characteristics of the different types of tourmaline for mineralogical applications

Yan Jie

Department of Environmental Geosciences, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Tourmaline is a type of silicate mineral, and the only mineral which has the permanent electrical property in natural state. Therefore, expanding its application in the areas of environment and health protections depending on its physical, chemical and spectroscopic properties has great significance.

In this study, black tourmaline produced in China, black and pink tourmalines produced in Brazil and black tourmaline produced in Korea as well as jade minerals such as jadeite, nephrite, serpentine and agate produced in China, nephrite produced in Korea, serpentine produced in North Korea and nephrite produced in Russia were analyzed and their nuclear resonance characteristics were identified through electron microscopy(SEM) observation, X-ray diffraction(XRD) analysis, X-ray fluorescence(XRF) analysis, inductively coupled plasma spectroscopy(ICP) analysis, Fourier transform Raman spectroscopy(FT-Raman) analysis, far-infrared(FIR) analysis, nuclear magnetic resonance(NMR) analysis and anion(IC) analysis. In addition, the tourmaline and jade minerals for mineralogical, chemical and optical properties, and

spectroscopic characteristics for the radiated energy were examined. In order to investigate the health effects of surfactant characteristics, a questionnaire survey, that how tourmaline-containing soap affects the skin of fifty individuals, were carried out.

By observing through polarized light microscopy and electron microscopy, tourmaline shows columnar crystalline or granular aggregate pattern. Striation developed in the vertical direction due to the difference of the generated environment are also observed. By analyzing the studied samples' formula, unit cell absorption coefficient and infrared spectral characteristics, the Korean sample is categorized to the iron tourmaline, and the China and Brazil ones represent the characteristics of the magnesium tourmaline.

According to the results from chemical composition analyses, the tourmaline is categorized two types. The one shows that Fe is dominant in Y-site where metal element distributed and the other shows that Al is dominant in that site. Furthermore, the two elements indicate appropriate correlation. As Al content is increased, Mg content is also increased while Fe content is decreased. The composition ratios of K/Ca, and Na/K also show reasonable correlations. Fe/B content ratio in a solid solution indicates same pattern. $\text{CaO} / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ and $\text{MgO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ content ratios show highly positive correlation. Tourmaline produced in different regions has various microelements and those concentrations which are relatively low. In case of jade mineral, Russian nephrite has very high content of Cr, Cu, and Zn categorized the environmentally toxic heavy metals compared to the ones produced

in other regions.

The reactions between water and tourmaline, and water and jade mineral show that the pH and Eh play a regulatory role and the values of pH and DO(dissolved oxygen) increase with the reaction time prolonged. The more the content added to tourmaline, the higher the pH value, and then it finally gets stable at pH = 8. In case of tourmaline, DO is lower than that of jade mineral and its values vary widely.

The DO value in tap water reacted with tourmaline powder is slightly increased during the initial six hours, then dramatically reduced after one day(< DO = 9.6), and gradually increased from the third to the fifth day. The initial pH value in distilled water shows the range from 7.22 to 7.26 and indicates a weak increase during the 12 hours, and a tendency to decrease after five days. In case of jade powder added to water, pH value is lower(6.08-6.15) than that of the initial stage for tourmaline and water reaction, shows a similar change over time and pH tends to maintain from 6.05 to 6.11 after 5 days .

Through the FT-IR analysis, tourmaline samples show relatively low transmittance in the short-wavelength range and the intensity of the absorption spectrum shows almost same pattern. The wavelength and intensity of the absorption spectra of tourmaline depend on the content and crystallographic characteristics of the constituent elements. Furthermore, the radiation decreases as iron content increases.

In the viewpoint of tourmaline composition and the its spectroscopic characteristics for the particle samples, far-infrared radiation between the contents of Si and Fe shows highly positive (+) correlation, while

those of Al and Mg presents negative (-) correlation. In the viewpoint of the correlation between the anion content of tourmaline and far-infrared radiation for particle samples, the components of F^- , Cl^- , and NO_3^{2-} present relatively positive (+) correlation. On the other hand, it can be seen that the far-infrared radiation increases crystallographically with the increase of the constants of A axis. As a result from comparing the radiation and spectral energy between tourmaline and jade mineral, jade mineral has higher energy, and purgatory has the highest energy among jade minerals.

After tourmaline powder and particles are put into distilled water for some time, the result of ^{17}O -NMR analysis of them shows that tourmaline can result in the reduction for the full width at half maximum(FWHM) and change of the FWHM is greater than that resulted from the jade minerals & water reaction.

The reaction of distilled water with tourmaline powder and particles shows that the distilled water would be alkalized, and main anions generated from this reaction are Cl^- , F^- and SO_4^{2-} .

Tourmaline has heat effects which can affect the human body's temperature, pulse and blood pressure. In high temperature fomentation, the body temperature is increased from 0.5 °C to 1.5°C, heat effect lasts, and pulse could be increased with an average of 12 times, blood pressure is raised at 10mg Hg. The result of comparison between jade and tourmaline poultices shows that tourmaline poultice is more reliable than that of jade. Tourmaline soap presents very good aesthetic effect on the skin. Especially it is confirmed that tourmaline soap usually has

improved effects on the skin problems such as allergy and atopy.

The study result from applied mineralogy on tourmaline produced from major areas is expected to provide useful data for the research on environment and health care. Tourmaline has medical effects, therefore, it is necessary to do further more study in this areas in the future.



제 1 장 서 언

1.1. 연구배경

전기석(Tourmaline)은 지구상에 있는 광물 중에서 유일하게 자연 상태에서 전자의 이동이 일어나 영구적으로 전기적 성질을 가지는 규산염 광물이다(Kubo, 1989). 프랑스의 물리학자 피에르 퀴리(Pierre Currie : 1859-1906)는 1880년에 최초로 전기석의 결정에 압력을 가하거나 가열할 때 전하가 발생하는 것을 발견하였으며, 압력을 가하면 발생하는 압전기(piezoelectricity ; 壓電效果)와 열을 가하면 발생하는 초전기(pyroelectricity ; 焦電氣)로 구분하였다. 그 후 전기석은 작게 분쇄되어도 자체적으로 결정의 양끝에 양극(+)과 음극(-)이 스스로 존재하며, 결정의 양극(+)과 음극(-)을 연결하면 0.06mA의 미약한 전류가 흐르는 것이 사실로 증명되었다(Nakamura, 1994; 佐佐木英明, 2000).

X-선을 발견한 물리학자 뢰트겐(Rentgen)도 같은 결과를 보고하였다. 이러한 전기석의 특별한 물리적 성질에 대한 연구와 함께 최근 많은 특허가 출원되고 있다(張志湘 외, 2007). 또한 중국에서 대량으로 생산되는 전기석의 표면 흡수성질을 비롯한 물리학적 특성에 대한 연구를 통하여 환경분야, 공업분야, 의료분야에서의 응용 가능성이 확대되었다(湯云暉 외, 1989; 王光華 외, 2007; 吳瑞華 외, 2001; 郭力, 2004).

산업화와 더불어 대기오염과 수질오염을 비롯한 산업 폐기물 처리 등에서 환경문제가 전 세계적으로 심각하게 대두됨에 따라, 선진국에서는 미생물과 수생식물을 이용한 정화작용에 대한 광범위한 응용 연구가 수행되고 있으며(張志湘 외, 2003; 王敏 외, 2007; 朱紅梅 외, 2007), 전기석의 환경오

염 방제의 연구와 활용에 관심이 높아지고 있다(梁岩 외, 2007; 關有俊 외, 2006; 何登良 외, 2006). 그러나 천연광물을 이용한 정화작용에 대한 충분한 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 더욱이 전기석의 의료 광물학적 활용을 위한 연구는 매우 초보적인 단계로서(김선옥, 박맹언, 2001; 엄결, 박맹언, 2006) 주요 산지별 전기석의 특성을 규명하고 그 활용성을 높이기 위한 의료 및 환경 정화물질로서의 연구는 매우 중요한 의미를 지닌다. 전기석의 특성 및 응용광물학적 기초연구는 성분, 구조, 특성에 대한 연구가 증가됨에 따라 전기석의 응용광물학적 활용을 위한 자원개발과 산업 분야에서 용도가 더욱 늘어날 것으로 생각된다.

보석으로서도 가치가 높은 전기석은 세계적으로 50%~70%가 브라질의 미나스 제라이스(Minas Gerais)에서 산출되며(韓躍新 외, 2004; 張開永 외, 2004), 그 외에도 칠레, 러시아 및 중국 등이 주요산지이다(陳建華, 1990; 陳志强 외, 1994; 趙琮譯 외, 2001; 盧宗柳, 2008). 중국은 하북(河北), 섬서(陝西), 내몽고(內蒙古), 절강(浙江), 계림(桂林), 요녕(遼寧), 운남(云南)과 서장(西藏) 등지에서 생산되어 대량의 흑색 전기석이 분말로써 일본과 서방국가에 수출되고 있다(張學凱, 1993; 季賦屏 외, 2004).

1.2. 연구 내용 및 목적

전기석의 응용광물학적 활용은 주로 광물의 전극성을 이용하는데 있으며(張志蘭, 1988), 건강증진 물질로서의 활용성도 전극성과 함께 높은 원적외선의 방사작용에 대한 관심이라고 볼 수 있다(張志蘭, 1980; 潘艷芬 외, 2006). 그러나 모든 전기석이 전극성을 갖고 있지 않기 때문에 전기석의 물리적, 화학적 및 분광학적 특성에 따른 전극성의 강도를 이해하는 것은

이용가치를 높이는 중요한 관건이 된다. 최근 전기석의 특성인 전극성의 활용에 대한 기술이 보고되고 있으나(冀志江 외, 2002), 한국에서는 이 분야에 대한 연구가 전무한 실정이다. 따라서 전기석의 광물학적 특성과 그 활용뿐만 아니라 건강과 보건의 분야의 연구는 그 용도와 활용성을 높이는 데 있어 매우 중요한 의미를 지닌다.

연구시료는 중국, 브라질, 한국산 전기석을 주 대상으로 수행하였으며, 대조군 광물로서 중국산, 한국산, 러시아산, 북한산 옥광물을 이용하였다. 주요연구내용은 결정학적 특성, 화학조성, 분광학적 특성, 핵자기 공명에너지 특성, 원적외선을 비롯한 분광에너지 특성, 음이온 발생 특성 연구와 그 상관성에 대하여 검토하였다. 또한 전기석의 광물학적, 화학적, 분광학적 특성과 그 방사에너지가 체온, 혈압, 맥박 등 인체에 미치는 영향과 전기석 비누가 피부에 미치는 영향을 파악하여 전기석의 응용광물학적 활용을 검토하였다. 한편 전기석과 옥광물의 분광학적 특성과 대비하기 위하여 의료용으로 활용되는 산지별 옥의 광물학적 특성 연구(엔지, 2006) 결과와도 비교하여 검토하였다.

이 연구는 전기석의 활용성을 높이기 위한 산지별 전기석의 특성을 규명하고, 전기석 자원의 활용과 부가가치를 제고하는데 그 목적이 있다.

1.3. 전기석의 용도

전기석은 공기 중의 먼지와 유해기체의 흡수를 비롯하여 산업 폐기물 처리와 수질정화 등 환경 분야에 이용되고 있다(姚志通 외, 2007; 胥煥岩 외, 2007). 또한 전기석이 공기 중에서 음이온을 생성하고 원적외선을 방출함에 따라 건강증진과 식물발육과 생장작용 촉진에 활용되며, 화장품 제조

와 전자파 차단물질의 원료로도 이용된다(胥煥岩 외, 2007; 吳麗娜 외, 2007; 甄剛, 2007). 또한, 전기석 도료는 실내공기의 오염제거에 활용되며, 선박의 방오용 도료에 활용되는(管登高 외, 2006) 등, 새로운 친환경 재료로서 매우 광범위하게 이용되고 있다.

전기석 원석을 수돗물에 넣어 물의 성분과 수질이 변화되는 것이 확인됨에 따라 전기석의 건강분야, 의료분야, 생활분야 등에서 응용 가능성이 확대되고 있는 실정이다(Nakamura et al., 1994). 특히 일본, 미국 등 선진국에서 환경보호, 화학공업, 도자기, 보건, 농업영역에서 활용도가 더욱 높아졌다. 한편, 전기석으로부터 방출되는 전류는 식물이나 동물세포가 성장하기 위한 영양이 공급될 때 발생하는 성장 에너지와 동일한 에너지로 알려짐에 따라 그 활용의 폭이 증대되고 있다(陳春云, 姚堯, 2007).

원적외선의 응용분야는 산업분야에서 널리 응용되고 있고 최근에는 의료 및 보건 분야까지 이용되고 있다(駱靖中, 2007). 일본에서는 원적외선에 대한 응용이 각 분야에 걸쳐 다양하게 이루어졌다. 한국에서도 대학부속 한방의원을 중심으로 효능에 대한 임상의 검토가 단편적으로 있었지만 생산기술연구원에서는 원적외선에 대한 효능을 인정하지 않고 있고, 다만 원적외선에 의해 발생하는 온열효과에 대해서만 인정하고 있어 원적외선 연구에 대한 걸림돌이 되고 있는 실정이다(김선옥, 박맹언, 2002).

한편, 전기석은 전통적으로 가장 널리 보급되어 있는 보석으로서 복잡한 화학조성, 다양한 색 등의 광학적 특성은 광물학자의 주요 연구과제가 되고 있다. 전기석 중에서도 알칼리 금속이 많은 것을 귀전기석(또는 알칼리 전기석)은 무색, 홍색, 청색 및 황색 등의 아름다운 색을 띠고 투명한 것이 많아 보석으로서의 가치가 높다.

제 2 장 전기석의 광물학적 특성

2.1. 전기석의 분류

전기석은 철, 마그네슘, 알칼리 금속을 비롯한 알루미늄 및 붕소 등의 매우 복잡한 화학조성을 지니며, 주로 삼각 및 육각(또는 구각형)의 주상형태로 나타난다. 국제광물협회와 광물 명명위원회에서는 결정구조와 화학식이 같고, 연속적인 범위 내에서의 유질동상 광물개체는 동일한 광물 종으로 구분한다. 현재 국제 광물학회가 공인하고 있는 전기석 광물그룹은 11종이다(Table 1, Table 2). 일반적으로 Fe, Mg, Al(+Li)등의 원소함량에 따라서 크게 흑색 전기석, 마그네슘 전기석 및 리튬 전기석으로 분류되며, 최근 30여 년 동안 새로운 광물이 지속적으로 보고되고 있다(楊如增 외, 2007).

전기석 군은 Table 4에 예시된 것처럼 크게 X-사이트에 Na이 있는 알칼리 전기석(alkali tourmaline), Ca이 있는 칼슘 전기석(calcic tourmaline) 및 X-사이트가 비어 있는 전기석(X-site vacant tourmaline)으로 나눌 수 있다. 알칼리 전기석은 Y-사이트에 $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{1.5}$ 가 있는 엘바이트(elbaite), Mg이 있는 드라바이트(dravite)와 크롬 드라바이트(chrom dravit), Fe^{2+} 가 있는 솔(schorl), Al이 있는 오레나이트 olenite), Fe^{3+} 이 있는 버거라이트(buergerite)와 포본드라이트(povondraite)로 나누어진다. Y-사이트에 Mg이 있는 드라바이트(dravite)와 크롬 드라바이트(chrom dravite)는 Z-사이트에 의해 다시 분류되는데, Al이 있으면 드라바이트(dravite)이고, Cr이 있으면 크롬 드라바이트(chrom dravite)가 된다. Y-사이트에 Fe^{3+} 이 있는 버거라이트(buergerite)와 포본드라이트(povondraite)도 Z-사이트에 의해 분류되는데, Al이 있으면 버거라이트(buergerite), Fe^{3+} 이 있으면 포본드라

이트(povondraite)가 된다. 칼슘 전기석은 Y-사이트에 Li_2Al 이 있는 리디코타이트(liddicoatite), Mg이 있는 우바이트(uvite), 그리고 Fe^{2+} 이 있는 페루바이트(feruvite)로 분류된다. X-사이트가 비어 있는 전기석은 Y-사이트에 LiAl_2 의 로스마나이트(rossmanite)와 Fe^{2+} 이 있는 포이타이트(foitite)로 분류된다(楊如增 외, 2000).

전기석은 산지의 지질환경 및 미량원소의 차이에 의해 색의 차이를 가지며, 다양한 색은 화학구성과 원소의 치환 양상에서 기인된다(김수진, 1996; 王光華, 董發勤, 2007). 일반적으로 철이 풍부한 전기석은 흑색을 띠며, 리튬, 마그네슘 등에 의해 분홍색과 청색을 나타낸다. 마그네슘이 풍부한 것은 갈색과 황색을 띠며, 크롬이 함유되면 녹색이나 황갈색을 띤다. 그 외에 알칼리 금속이 많이 함유된 귀전기석(또는 알칼리 전기석)은 투명체로서 무색, 적색, 청색 및 황색 등 여러 가지 색을 띤다(王進軍 외, 2006).

보석광물학적 분류에서는 너무 다양한 색상으로 인해 각각의 변종지정이 없이 색에 따른 증명으로 불리고 있으나, 산업계에서는 분홍 내지 적색인 것을 루벨라이트(rubellite), 남청색인 것을 인디고라이트(indigorite), 녹색인 것을 버딜라이트(verdelite), 흑색을 솔(schorl) 등, 색에 따라 다양한 상업명으로 부르고 있다(Table 3).

Table 1. End-members of common tourmaline group(Henry and Guidott, 1985).

End member	Formula *	References
Buergerite	$\text{NaFe}^{3+}\text{Al}_6\text{B}_2\text{Si}_6\text{O}_{30}\text{F}$	American Mineralogist(1966)
Chromdravite	$\text{NaMg}_3(\text{Cr}_5\text{Al})\text{B}_2\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH})$	Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo Obshchestvo(1983)
Dravite	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH},\text{F})$	Lehrbuch der Mineralogie(Ist, ed.)(1985)
Elbaite	$\text{Na}(\text{Al},\text{Li})_3\text{Al}_6\text{B}_2\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{O},\text{OH},\text{F})_4$	Zeitschrift fur Kristallographie, Kristallogeometri Kristallphysik Kristallchemie(1913)
Ferridravite	$(\text{Na},\text{K})(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{Fe}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{O},\text{OH},\text{F})_4$	American Mineralogist(1979)
Liddicoatite	$\text{Ca}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{O}_9\text{OH}_9\text{F})_4$	American Mineralogist(1977)
Schorl	$\text{NaFe}^{3+}\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH})_4$	Wiley, New York(1892)
Uvite	$\text{CaMg}_3(\text{Al}_5,\text{Mg})\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH},\text{F})_4$	Mineralogical Record(1977)
Feruvite	$\text{Ca Fe}_3(\text{Al},\text{Mg})_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH})_4$	Canadian Mineralogist(1989)
Foitite	$[\text{Fe}^{2+}_2(\text{Al},\text{Fe}^{3+})]\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH})$	American Mineralogist(1993)
Rossmannite	$(\text{Li}, \text{Al}_2)\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH})_4$	American Mineralogist(1998)

* Y^{2+} and Y^{3+} represent and divalent or trivalent cation, respectively, in the Y-site. Consequently, the actual end member will depend on the cation chosen for the Y-site.

2.2. 전기석의 물리학적 성질

2.2.1. 전기석의 결정학적 성질

전기석은 자연 상태에서 침상(針狀) 또는 모상(毛狀)을 나타내며, 집합체 내지는 방사상을 띠는 결정의 집합체로 산출되며, 때로는 입상(粒狀)과 괴상(塊狀)을 이루기도 한다. 쪼개짐은 분명하지 않으며, 단구(斷口)는 평탄하지 않거나 패각상(貝殼狀)이다(廖忠礼 외, 2007; 李芳芳, 2007).

Kulazewsk와 Laue(1921) 등은 X-선 방사 방식으로 전기석의 공간군 연구를 시작으로 하여, Barton(1969)은 전기석의 구조를 규명하였다(杜亞利 외, 2006). 전기석의 결정구조는 삼방정계로서 $C_{3v}^5 - R3$ 군에 속한다(Table 2). 전기석은 이극성 광물로서 C축이 3회 대칭축이며, 대칭심이 없는 특징을 지닌다. 전기석의 규산염 사면체의 환상구조는 Ito and Sadanaga(1951)의 해석과 Donnay and Buerger(1950) 해석으로 구분되며, 일반적으로 Ito and Sadanaga(1951)에 따른다. 전기석의 결정계는 삼방정계이고 대개는 6각 또는 9각 3각 주상을 이루며, 주의 상하에서 결정형을 달리하는 경우도 있다(Table 5). 한편, 전기석의 공간군은 $R3m$ 에 속한다(Barton, 1969).

전기석은 여섯 개의 사면체로 이루어지며, 그 중 T-사이트에는 Si가 대부분이지만 부분적으로 소량의 Al이나 극소한 B로 채워진다. 사면체와 교대로 위치한 삼각형의 모양의 BO_3 그룹은 (0001)면에 평행하게 위치한다(Fig. 1). B 또는 빈 상태로 있을 수 있는 자리에 결정학적인 연구에 있어 대부분 화학조성으로 암시되고 있다(Herber, 1994). B 자리의 고리들은 두 종류의 팔면체인 Z-와 Y-사이트에 각각 연결되어 있다. Z-사이트의 팔면체는 비교적 작고 다소 일그러져 있으며, 주로 Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} 과 V^{3+} 과 같은 3가의 양이온으로 구성되지만 상당한 양의 Mg^{2+} 과 미량의 Fe^{2+} 이온으로 이루어진다.

Y-사이트는 비교적 정상적인 팔면체의 다면체로서 다양한 다 원자의 이온이 배열되어 있다. 그 중 Li^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Fe^{3+} 과 Ti^{4+} 가 가장 일반적이다. 구조적으로 가장 완전한 것은 Y-사이트가 전혀 빈 상태가 아님을 의미한다. X-사이트는 주로 Na^+ 과 Ca^{2+} 및 소량의 K^+ 이 채워지거나 빈 상태로도 존재 한다

구조식에서 모형도 중앙에 있는 W-사이트(회색 원)는 주로 단일 산소로 구성되는데 사면체의 의사 육면체(pseudo-hexagonal) 고리형태와 세 축의 중심에 위치하며, OH^- , O^{2-} 또는 F^- 도 포함될 수 있다(Herber et al., 1994). W-사이트에는 F^- 이온도 존재하고 O^{2-} 역시 OH^- 와 연결되어 존재할 수 있는 유일한 사이트이다. 모형도에서 중심의 산소를 제외한 3개의 산소는 V-사이트를 구성하는데, 이 O-사이트의 전형적인 구성인자는 OH^- 이나, 매우 다량의 O^{2-} 도 역시 포함될 수 있다(Gruner, 1934).

화학적 성분의 다양성에도 불구하고 전기석은 모두 주상 정벽의 복삼방주 결정으로 산출되며, 한쪽 끝에는 여러 개의 삼방추가 결합되어 있다. 결정 구조는 기본적으로 여섯 개의 SiO_4 사면체로 이어진 육각 고리모양을 하고 있으며, 이들은 간극 이온들에 의해 평면적으로 결합되어 있다(王敏 외, 2001; 王登紅 외, 1996).

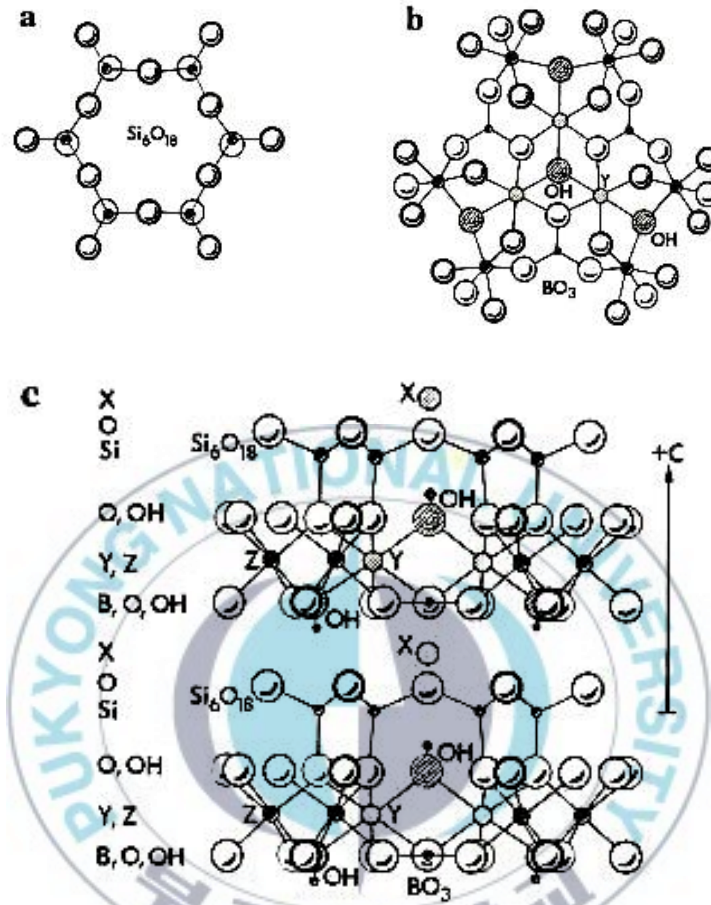


Figure 1. Tourmaline structure modules(modified after Weiner and Glas, 1985). a. six-membered tetrahedral ring projected onto (0001) with the apical oxygens pointing toward the analogous pole. b. (0001) projection of layer containing Y octahedra, Z octahedra and triangular groups. c. structural components as viewed perpendicular to the c-axis. (from Boron, E. S. Grew & L. M. Anovitz, 1996).

Table 2. Dielectric constant of tourmaline.

Color	Specific gravity	Dielectric constant	
		c	⊥ c
Light yellow	3.06	6.5	7.9
Red	3.05	6.0	7.4
Green	3.16	5.9	6.8
Black	3.18	6.4	8
Black	3.14	6.3	7.9
Black	3.11	6.1	7.6
Black	3.11	5.9	7.5
Black	3.09	5.9	7.6

Source: Ji, Z. J.,(2002)

2.2.2. 전기석의 분광학적 성질

전기석의 흡수스펙트럼은 주로 $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{21-}$ 구조에 의해 일어나며, 0-1200 cm^{-1} 범위에서 특징적으로 나타난다. 흡수스펙트럼에서 관찰되는 두 개의 비대칭 피크는 400-570 cm^{-1} 이며, 반대로 대칭되는 피크는 962-999 cm^{-1} 과 600-700 cm^{-1} 범위이다. 신축봉은 매우 강한 변형된 피크가 3800 cm^{-1} 에서 형성된다. 전기석에 함유된 철 함량이 높아짐에 따라 흡수스펙트럼의 피크가 분리되어 패턴이 변한다(Schroeder et al., 1996; Temuujina et al., 1998).

2.3. 전기석의 화학적 성질

전기석은 $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ 의 화학 구조식을 가지며, 금속원소간의 치환 고용체를 이루는 붕소 규산염(borosilicate) 광물이다. X자리에는 사면체 원소, Y와 Z자리에는 팔면체 원소들이 치환되며, X, Y, Z자리에 치환되는 원소의 종류에 따라 전기석의 이름이 다양하게 분류된다. X, Y, Z의 각 자리마다 치환되는 원소의 수가 다양하기 때문에 화학 조성의 변화가 심하며, 일반적으로 단성분에 따라 전기석의 성분을 나타낸다. 전기석이 넓은 범위의 성분상의 변이를 보이는 것은 주로 팔면체 Y자리에 치환되는 원소들이 다양하기 때문이다. 전기석을 구성하는 붕소는 삼각 배위구조로 이루어져 있으며(Herber, 1994), 다른 원소에 비해 거의 치환이 이루어지지 않는다(Table 4, 5). 붕소의 양이 많아지면 실리카 대신 붕소가 치환하기도 하지만(Barton, 1969) 실리카 대신 붕소를 치환한 사례가 발표된 연구는 알려져 있지 않다(Tsuji, et al., 1986).

Table 3. Color formation of jewel tourmaline.

Color	Elements	References
Red	Fe^{3+}	Mattson S. M. et al. (1984)
	Mn, Cs, and Li	Chaudhry M. N. et al. (1976)
	Mn^{2+} and Mn^{3+}	Leckebusch R. (1978)
	Mn^{3+}	Vinokurov V. M. et al. (1960)
	$\text{Mn}^{3+} \pm \text{Fe}^{2+}$	Dunn P. J. (1975)
Yellow	Fe^{3+}	Grum-Grzhimailo S. V. (1956)
	Ti	Hanni M. A. et al. (1981)
Green	Fe^{2+}	Dunn P. J. et al. (1977b)
	Cr	Dunn P. J. et al. (1977b)
Green	Cr and V	Schmtzer K. et al. (1979)
Colorless	Trace Fe	Dietrich R. V. (1985)
Sky blue	Cu	Leckebusch R. (1978)
	Fe^{2+} and Fe^{3+}	Dietrich R. V. (1985)
	Fe and Mn	Deer W. V. et al. (1962)
Black	Fe	Manning P. G. (1969b)
Brown	Fe^{3+}	Dunn P. J. et al. (1977)
	Ca	Dunn et al. (1977b)
Violet	Mn	Cech F. et al. (1965)

2.4. 전기석의 보석광물학적 성질

보석학에서는 장석과 석류석을 제외하고는 군(group)으로 분류하지 않기 때문에 일반적으로 전기석은 각각 다른 광물종으로 구분하며, 색과 특수효과에 따른 변종(變種)으로 분류한다. 보석에서는 색의 차이에 의해 무색 또는 무색 변종인 아크로아이트(achroite), 황갈색에서 짙은 갈색의 변종인 드라바이트(dravite), 다양한 색조의 푸른색 변종인 인디콜라이트(indicolite 또는 indigolite), 핑크에서 적색 또는 드물게 자색의 변종인 루벨라이트(rubellite), 라일락 색에서 보라색의 푸른색 변종인 시버라이트(siberite), 뚜렷한 녹색변종의 크롬 투어멀린(chrome tourmaline), 그리고 두 가지 이상의 색으로 된 변종인 파티 칼라(parti-colored), 중앙에 핑크를 띠고 둘레에 녹색을 지니는 워터 멜론(water melon) 등으로 나눈다. 그 외에도 특수효과에 의해 분류되는 묘안 효과(샤토양시, chatoyancy)가 나타나는 변종인 캐츠아이 투어멀린(cat's eye tourmaline)과 일광에서는 청록색 계열, 백열 등 등의 인공조명 아래에서는 자주-적색 계열로 색이 변하는 변종인 칼라 체인지(color change) 투어멀린으로 불린다(김원사, 2008).

전기석의 색은 미량의 전이원소에 의해 좌우된다고 연구 보고되고 있다 (Table 3). 푸른색과 녹색은 Fe^{2+} 와 Fe^{3+} 의 선택적 흡수(Mattson and Rossman, 1986)나 Fe^{2+} - Ti^{4+} 의 전하 전이(Mattson, as cited in Dietrich, 1985)에 기인되며, 녹색의 드라바이트(dravite)와 우바이트(uvite)는 Cr^{3+} 와 V^{3+} 이 발색원소(Schmetzer K. et al. 1979)이며, 엘바이트(elbaite)의 청색과 녹색의 발색원소는 Cu^{2+} 라고 보고된 바 있다(Leckebusch, 1978).

전기석에는 C축의 수직방향인 기저면을 따라 1차 포유물이 생기며, 일반적으로 2차포유물인 액체 내포물은 결정화 이후에 형성된다. 이는 전기석의 결정구조가 T-사이트의 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 환형{0001}에 평행하게 배열되어 층과

층 사이에 벽개와 유사한 성질로 쉽게 깨어지기 때문이다. 또 청색, 녹색, 분홍색 변종에는 성장채널(channel)이 있는데, $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 링(ring)에서 형성되어 모액의 잔류용액이나 양기석과 같은 광물로 채워진다(Dietrich, 1985).

전기석은 페그마타이트 형성 말기로부터 열수환경 기간 중에 만들어진다. 모액의 잔류용액이나 기타 공생광물 등이 C축과 나란하게 발달한 성장공극 속을 채우는 경우가 많다. 균열을 부분적으로 채우고 있는 모액의 잔류용액들은 모상(毛相)의 트리카이트(treecite) 침상물질을 만드는데 이는 전기석의 특징적인 내포물이다(廖忠礼 외, 2007; 毛景文 외 1993; 陳毓川 외, 1995).

전기석에서 관찰되는 고체 내포물은 인회석, 황철석을 비롯하여 무색석영 등이 있다. 전기석의 화학식을 보면 서로 다른 여러 금속원소들이 함께 존재하고 있으며, 이 때문에 색이 다르게 나타난다(陳建華, 1990; 김원사, 1993).

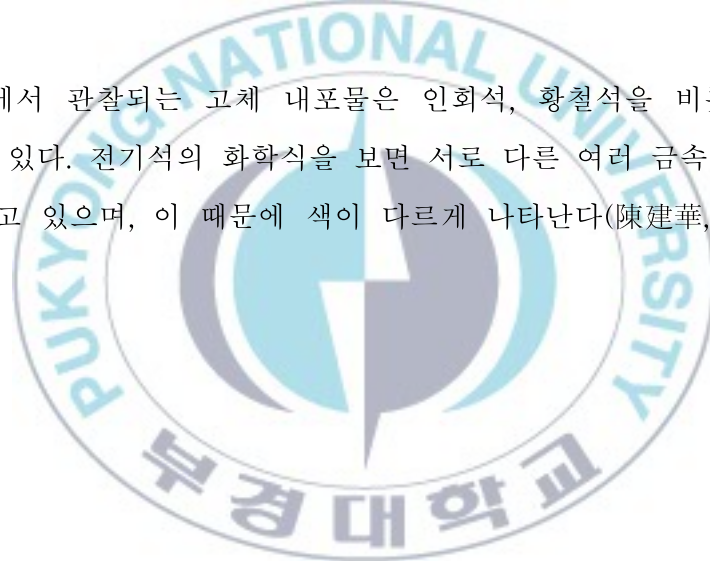


Table 4. End-member species of current tourmaline accepted by IMA(modified from Hawthorne and Henry, 1999).

Species	X	Y ₃	Z ₆	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	V ₃	W
Alkali tourmaline							
Elbaite	Na	Li _{1.5} Al _{1.5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Schorl	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Dravite	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Olenite	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	(OH)
Chrom dravite	Na	Mg ₃	Cr ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Buergerite	Na	Fe ³⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	F
Povon draite	Na	Fe ³⁺ ₃	Fe ³⁺ ₄ Mg ²⁺	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Vanadium dravite	Na	Mg ₃	V ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Calcic tourmaline							
Liddicoatite	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Uvite	Ca	Mg ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Hydroxy-feruvite	Ca	Fe ²⁺ ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
X-site vacant tourmaline							
Rossmannite	–	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Foitite	–	Fe ²⁺ ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Magnesio-foitite	–	Mg ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)

Table 5. Additional hypothetical tourmaline species inferred from probable site occupancies that are not currently recognized by IMA(modified from Hawthorne and Henry, 1999).

Species (hypothetical)	X	Y ₃	Z ₆	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	V ₃	W
Alkali tourmaline							
Fluor-elbaite	Na	Li _{1.5} Al _{1.5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-schorl	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-dravite	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-olenite	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	F
Fluor-chromdravite	Na	Mg ₃	Cr ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Hydroxy-buergerite	Na	Fe ³⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	(OH)
Oxy-elbaite	Na	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-schorl	Na	Fe ²⁺ Al ₂	Fe ²⁺ Al ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-dravite	Na	MgAl ₂	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-chrom dravite	Na	MgCr ₂	MgCr ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Al-Cr-povondraite	Na	Al ₃	Mg ₂ Cr ₄	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Calcic tourmaline							
Hydroxy-liddicoatite	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Hydroxy-uvite	Ca	Mg ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Fluor-feruvite	Ca	Fe ²⁺ ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Oxy-liddicoatite	Ca	Li _{1.5} Al _{1.5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-uvite	Ca	MgAl ₂	Mg ₂ Al ₄	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Ferri-uvite	Ca	MgFe ³⁺ ₂	Mg ₂ Fe ³⁺ ₄	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-feruvite	Ca	Fe ²⁺ Al ₂	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Ferri-feruvite	Ca	Fe ²⁺ Fe ³⁺ ₂	Mg ₂ Fe ³⁺ ₄	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
X-site vacant tourmaline							
Fluor-rossmanite	o	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-foitite	o	Fe ²⁺ ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-magnesio-foitite	o	Mg ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Oxy-rossmanite	o	Li _{0.5} Al _{2.5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-foitite	o	Fe ²⁺ Al ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-magnesio-foitite	o	MgAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-Mg-ferri-foitite	o	MgFe ³⁺ ₂	Fe ³⁺ ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-ferri-foitite	o	Fe ²⁺ Fe ³⁺ ₂	Fe ³⁺ ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O

제 3 장 연구 재료

3.1. 전기석의 산출특성

전기석은 일반적으로 마그마작용의 후기 열수 단계에서 형성된다. 주로 기성 단계인 페그마타이트에서 거정질의 전기석이 형성되며, 열수 시기에 서도 석영, 장석 및 운모류 등과 함께 수반되며, 산성 및 중성 화성암과 편 마암에서도 조암광물로써 산출되기도 한다. 그러므로 전기석은 생성환경의 차이에 의해 다양한 화학조성과 물리적 특성을 갖는다(王登紅 외, 1996; 季賦屏 외 2004).

전기석의 주요 산지는 브라질 등이며, 그 외 탄자니아, 케냐, 마다가스 카르, 나미비아, 모잠비크, 아프가니스탄, 파키스탄, 스리랑카, 미국, 미얀마, 인도 등 넓은 지역에서 산출된다(趙琮譯, 2001). 그러나 보석용이나 전기적 특성의 활용이 가능한 좋은 품질과 색이 산출되기는 드물다. 러시아의 우 랄산맥에서는 적색을 띠는 고품질의 전기석이 산출되며, 탄자니아산 전기 석도 보석용으로 각광을 받고 있다. 보석용 전기석은 적자색과 청색을 가 진 양질의 투명 결정체로 산출되는 것이 선호된다.

이 연구에서는 전세계적으로 그 수요가 많은 중국, 브라질 및 한국 전 기석의 분광학적 특성과 화학적 특성의 효용성을 비교하기 위하여 중국산 연옥, 사문석옥 및 마노옥, 한국 연옥, 러시아 연옥 및 북한산 사문석옥을 대상으로 응용광물학적 활용을 위한 연구가 수행되었다(Figure 2.).

3.1.1. 중국산 전기석(CT)

중국의 전기석은 광범위한 지역에 분포되어 있다. 보석용 전기석으로는 운남(云南), 신강(新疆), 내몽고(内蒙古), 호남(湖南), 광서(廣西), 요녕(遼寧) 등지에서 산출되며, 보석용이 아닌 전기석은 중국의 산둥(山東) 루시(魯西), 광서 대창(廣西 大昌), 산서 중조산(山西 中朝山), 요녕 동부(遼寧 東部)와 내몽고 적봉지대(內蒙古 赤峰地帶)에 분포한다(吳瑞華, 2001). 중국의 전기석 산출은 화강암의 조암광물, 화강암과 관계되는 열수교대 및 열수 변질작용 등과 관련되며, 이 연구에서 사용된 시료는 광역변성작용을 받아서 형성된 흑운모 편마암에 수반되는 전기석으로 장석, 백운모, 흑운모, 녹니석 등과 밀접하게 공생하며, 치밀한 세립질 내지 조립질의 흑색(CT1), 암녹색(CT2), 회색(CT3), 암회색(CT4, CT5) 결정이다(Table 6).

3.1.2. 브라질산 전기석(BT)

브라질산 전기석은 다양한 색을 지니는 보석용 전기석과 함께 산출되며, 석영 맥 내에서 방해석, 석영, 녹주석과 수반되어 산출된다. 이 실험에서는 브라질의 미나스 제라이스(Minas Gerais)광산에서 생산되는 거정질의 반투명 흑색 전기석(BT1)과 투명 핑크색(BT2)전기석을 이용하였다.

3.1.3. 한국산 전기석(DT)

한국의 전기석은 경기도 시흥, 전라북도 무주, 경상남도 함안, 부산광역시 기장군 일광면 등지에서 페그마타이트, 화강암, 화강섬록암과 수반된 구리광산의 석영 맥 등에 수반되며, 그 중 대유광산은 페그마타이트에서 거정질의 흑색의 주상 결정체가 대량으로 산출된다.

대유광산의 지질은 선캠브리아기 편마암 복합체로 이루어지며, 전기석은 페그마타이트 광상에 수반된다. 다양한 조직을 갖는 흑운모 및 화강암질 편마암을 비롯하여 변성퇴적암류와 화강암류가 관입되어 있으며, 페그마타이트와 산성 및 염기성 암맥으로 이루어져있다. 구성광물은 거정질 흑색 전기석을 비롯하여 석영, 장석, 흑운모, 녹니석, 백운모 및 저어콘 등이다(홍승호와 윤욱, 1993). 이 실험에서는 대유광산에서 산출되는 흑색의 거정질 전기석(DT1)을 이용하였다(Table 6).

3.2. 대조군 옥광물

대조군 옥광물로는 최근 국내 및 국외 시장에서 유통되고 있는 것으로서 장신구(반지, 팔찌 및 목걸이 등)와 건강 상품(베개, 침대 및 방석 등)을 이용하였다. 시료의 산지는 중국 신강(新疆)산 연옥(CN), 한국 춘천산 연옥(KN), 러시아 바이칼산 연옥(RN), 중국 요녕(遼寧)산 사문석옥(LS), 북한 사문석옥(NS), 중국 대흥안령(大興安嶺) 마노옥(CA)으로 녹색과 자홍색 계통으로 시료는 총 6종이다(Table 6).

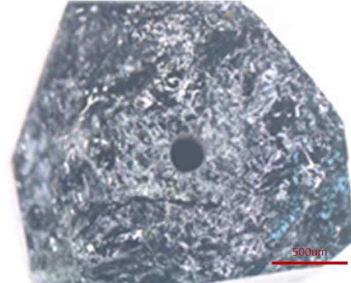
Table 6. Specimen characteristics of the studied tourmalines(CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, BT1, BT2 and DT1) and jades(CN, KN, RN, LS, NS and CA).

No.	Localities	Figuration	Color	Transparency
Tourmaline				
CT1	China	Grain	Black	Translucence
CT2	China	Powder	Greenish black	Transparent
CT3	China	Grain	Gray	Transparent
CT4	China	Grain	Dark gray	Translucence
CT5	China	Grain	Dark gray	Transparent
BT1	Brazil	Grain	Black	Transparent
BT2	Brazil	Grain	Pink	Transparent
DT1	Korea	Grain	Black	Translucent
Nephrite*				
CN	Xinjiang, China	Grain	Emerald green	Translucence
KN	Korea	Grain	Cream yellow	Translucence
RN	Vical, Russia	Grain	Green	Translucence
Serpentine*				
LS	Liaoning, China	Grain	Yellow green	Translucence
NS	North Korea	Grain	Yellow green	Translucence
Agate*				
CA	Daxal China	Grain	Brown	Translucence

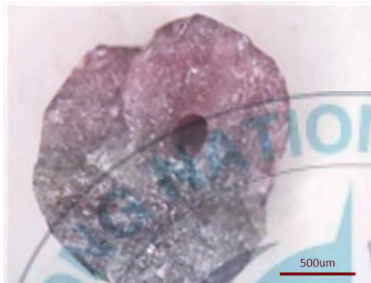
*Yan Jie(2006)



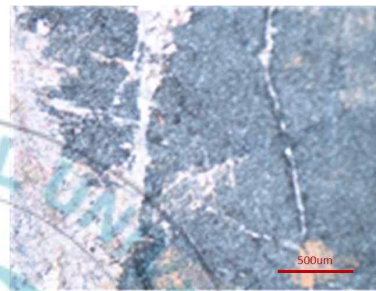
A : CT1(black color; China)



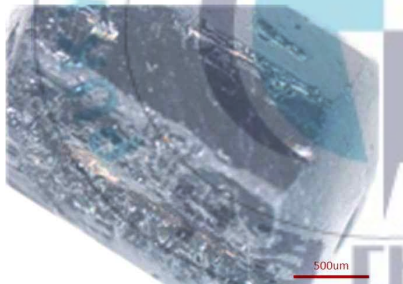
B : BT1(black color; Brazil)



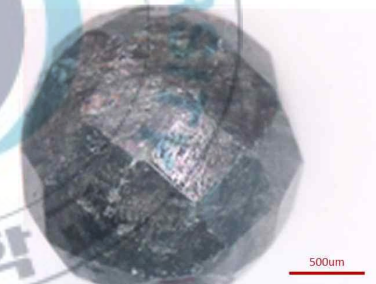
C : BT2(pink color; Brazil)



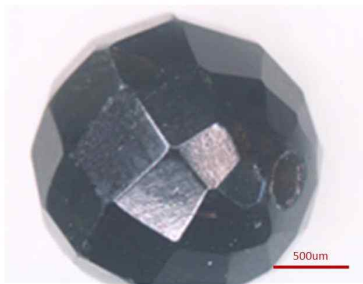
D : DT1(black color; Korea)



E : CT3(dark gray color; China)



F : CT4(dark gray color; China)



G : CT5(dark gray color; China)

Figure 2. Photographs of tourmaline specimens from China, Brazil and Korea.

제 4 장 연구 방법

이 연구는 전기석과의 대조군으로서 옥광물을 대상으로 화학적, 물리적, 결정학적 및 광학적 특성에 따른 분광학적 특성과 음이온 방사에너지를 비롯한 응용광물학적 활용에 필요한 실험을 수행하였다. 육안으로 색상, 투명도 및 광택을 확인하였으며, 색상은 자연광 하에서 주색과 보조색을 관찰하였다. 투명도는 투과광으로 측정하였으며, 시료 표면에서 반사되는 표면 광택을 평가하였다. 조직연구는 편광 및 입체 현미경을 사용하여 암시야, 명시야 및 확산 조명 등을 이용해 시료의 물리적 성질과 조직 및 내포물을 관찰하였다.

전기석을 조성하고 있는 극미립상의 결정상 해석과 결정학적 특성은 X-선 회절분석을 통하여 결정학적 연구를 시행하였다. 화학적 연구를 위해 주성분 및 미량원소 분석을 각각 X-선 형광(XRF) 분석과 유도결합 플라즈마 분광(ICP)분석을 실시하였으며, pH-Eh조절, 음이온(IC) 분석을 수행하였다. 또한 전기석의 분광학적 성질을 파악하기 위해 분말 및 입자 시료를 대상으로 푸리에 변환 적외선 분광(FT-IR)분석, 원적외선 분광(IR)분석, 핵자기 공명(^{17}O -NMR)분석을 실시하였다.

전기석의 보건 의학적 활용을 위한 기초자료를 제공하기 위하여 온열 지속반응(사우나)에서 임상실험을 수행하였다. 전기석의 온열 지속반응에 의해 체온, 혈압, 맥박 변화를 측정하여 옥광물의 온열 지속반응의 결과와 비교하여 고찰하였다. 또한 건강증진 용도로서의 평가는 전기석이 지니는 계면활성적 특성이 피부에 미치는 영향을 파악하기 위하여 전기석이 함유된 비누를 제작하여 좋은 피부, 보통 피부, 결합 피부를 지닌 50명(남자 20명, 여자 30명)을 대상으로 사용 전후의 피부상태에 대한 설문조사를 수행하였다.

4.1. 조직 및 광학적 분석

전기석의 광물조성 및 공생 관계와 조직을 파악하기 위하여 대표적인 산지별 시료와 대조군인 옥광물을 연마박편으로 제작하여 편광 및 반사현미경에서 면밀히 관찰하였다. 주요 산지별 전기석의 결정크기 및 집합특성을 비롯하여 표면조직과 구성성분을 파악하기 위하여 금으로 코팅하는 전처리과정을 거친 후, 부경대학교 공동실험관에서 Hitachi model S-2400 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM)을 이용하여 분석하였다.

4.2. 결정학적 분석

결정 표면에 X-선이 조사되면 입사 결정을 구성하는 원자가 산란을 일으켜 산란 X-선을 방출한다. 이러한 원리를 이용하여 결정 및 비정질의 결정구조와 결정상태, 즉 원자배열과의 관련정보를 알아내는데 활용된다. X-선 회절법은 결정성 화합물을 정성적으로 동정하는데 이용되며, 회절 측정값은 화합물 중의 결정화합물의 정량분석에도 이용된다.

전기석 결정구조 분석을 위한 X-선 회절분석을 위하여 각 시료들을 아게이트 몰타르(agate mortar)에서 200mesh 이하의 크기로 분쇄한 후, RIGAKU사의 X'Pert-MPD 시스템과 D/MAX-2000(부경대학교 공동실험실습관)을 이용하여 전압 40KV, 전류 30mA의 조건하에서 분석하였다. 주사 속도는 0.5°C/ mic, 차트 속도는 2cm /min, 기록 범위는 40-70°C로 하였다.

단위포 상수는 (140), (211), (123), (220), (133), (142), (231), (232), (223), (143), (214), (233), (320), (153), (250), (006), (135), (303) 면의 2 θ 값을 Applemen & Evance(1973)에 의해 제안된 최소자승법을 이용하여 컴

퓨터로 계산하였다.

4.3 화학조성 분석

4.3.1. 주성분 및 부성분 원소

시료에 대한 X-선을 조사할 때 광물 내에 함유되어 있던 원소들은 흥분상태가 되어 높은 에너지 준위에 있는 전자의 전이가 일어나 기저상태로 되돌아 올때 원소 고유의 스펙트럼을 갖는 형광 X-선이 방출된다. X-선 형광분석은 결정을 통과할 때 분산된 스펙트럼의 파장과 강도로부터 구성 원소의 종류 및 함량을 측정하는 방법이다.

각 시료에 대한 주성분 분석은 부경대학교 공동실험실습관 X-선 형광 분석기(SHIMADZU XRF-1700)를 이용하여 실시하였다. 분석은 전압 40KV, 전류 95mA에서 수행하였다.

4.3.2 미량 원소

유도결합 플라즈마 분광(ICP) 분석의 경우, 기기의 검출 한계가 매우 낮기 때문에 극미량으로 존재하는 중금속의 측정이 가능하다. ICP분석은 측정값의 재현성 및 신뢰성 면에서 다른 측정방법과 비교하여 매우 안정된 측정값을 얻을 수 있는 분석방법이다. 미량원소 분석은 전기석과 대조군 광물인 옥광물의 환경 중금속의 함유 특성을 규명하고 미량성분 조성의 특성을 파악하기 위하여 수행하였다. 유도결합 플라즈마 분광(ICP) 분석은 라디오(Radio)파의 진동을 일으키는 유도 코일에서 스파크를 일으켜 생성한 아르곤 플라즈마(이온화된 기체)에 액체상태의 시료를 주입하여 발생하

는 방출 스펙트럼을 분광기로 분석하였다. 시료분석은 한국기초과학지원연구원 분소인 부산대학 기초과학지원연구소의 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용하였다. 분석원소는 Cr, Co, Cu, Zn, Ga 및 Zr이다.

이 연구는 고체시료 0.2g을 (질산 : 불산 : 과염소산 = 4 : 4 : 1)의 혼합산 6ml 첨가하여 가압 테플론 용기에서 실행하였다. 180℃에서 1ml 이하로 될 때 까지 증발시킨 후, 3차 증류수로 40ml로 희석해서 측정하였다. 원소 분석은 6,000 내지 8,000K에서 여기 된 원자가 기저상태로 이동할 때 방출되는 발광선 및 발광강도를 측정하였다.

4.4. pH - Eh(DO) 조절 기능 분석

pH값은 화학적 특징을 좌우하는 중요한 지표로서 0.01의 차이라도 정밀한 계측이 필요 된다. pH는 수용액(水溶液) 중에 해리(解離)하여 존재하는 수소이온농도(H^+)의 역수의 대수로 정의된다. 전극의 발생전위(發生電位)는 용액 중의 수소이온 활동도 $a_{H^+}=f_x(H^+)$ 에 해당된다. 통상적으로 사용되는 pH정의의 측정범위로는 pH=0-14이다.

용존산소(DO=Dissolved Oxygen)란 수중에 용해되어 있는 산소량(농도)을 말한다. 물에 용해된 산소량은 온도 및 압력에 의하여 영향을 받는다. 물에 대한 산소의 용해도를 좌우하는 것으로 자연적 인자 외에도 수중에 존재하는 오염된 유기물 등은 물에 대한 산소의 용해도를 감소시키며, 또한 산소를 소비한다. 그러므로 오염된 물에서는 소비되는 양이 많으므로 용존산소량은 적고, 깨끗한 물에서는 그 온도에 있어서의 포화량에 가깝게 함유되어 있다. 즉 용존산소의 대소는 오염의 정도를 말해준다고 할 수 있다. 용존산소의 측정은 오염물질이 유입되는 자연수와 가정하수, 산업폐수를 정화하는 공정을 호기성 상태로 유지하는데 있어서 매우 중요한 요인이

된다. 따라서 물속의 산소는 자연수의 자정능력을 제한하는 주요인자이며 이 때문에 폐수를 유입하전에 방류하기 전에 반드시 정화 처리하여 오염물질을 제거시켜야 한다.

이 연구에서는 전기석의 전극성이 물의 pH와 Eh(DO)에 영향을 주는 정도를 파악하기 위하여 수돗물과 증류수를 이용하여 그 작용과 영향을 연구하였다.



4.5. 분광학적 분석

4.5.1. 푸리에 변환 라만분광(FT-IR) 분석

분광분석은 원자의 진동에너지를 측정하여 물질의 원자량, 결합력, 결합 구조에 따라 적외선 흡수가 다르게 발생하는 원리를 이용한다. 진동파에 의한 피크의 위치는 대칭성 및 상대적인 강도뿐만 아니라 온도, 압력 및 화학조성 등에 의한 피크의 양상이 변화되기 때문에 결정구조에 관한 많은 정보를 얻을 수 있다. 또한 물질 내의 특정구조와 관련된 피크는 특정 분자군이나 화합물 구조의 확인과 화학조성 변화에 따라 피크의 위치와 강도가 달라지므로 광물의 정량분석에 활용된다.

이 연구에서는 시료를 200mesh 이하 크기로 분쇄한 후 Bruker IFS-88을 이용하여 부경대학교 공동실험관에서 분석하였다. 분석조건은 중간 및 원적외선 영역분석을 $7000\text{--}20\text{cm}^{-1}$ 로 하였으며, 분해능은 0.25cm^{-1} 로 설정하였다.

4.5.2. 원적외선 분광(IR) 분석

열의 전달은 전도, 대류 및 방사의 3가지로 분류되며, 그 중 전도와 대류는 고체 또는 유체 등의 매질을 통하여 열이 전달되는데 비해 방사는 열 원으로부터 직접 전자파가 방사되어 전달 매체가 필요하지 않기 때문에 특정 물체만을 가열할 수 있는 장점이 있다. 적외선은 물체의 표면에 투사되면 반사, 투과 및 흡수현상이 일어나고 대상 물체의 표면 상태, 분자 구조 및 온도와 적외선 파장에 의하여 달라진다. 이때 흡수율이 큰 물체는 발열량이 크므로 방사 스펙트럼과 흡수 스펙트럼이 일치하여 광물의 분광 특성 연구에 매우 유의하다. 적외선은 근적외선과 원적외선으로 분류되고 국제 조명 용어집(CIE)의 분류를 표시하면 그림과 같다(Fig. 3).

물질의 전자복사 작용은 전자기 에너지의 선택적 흡수, 방출, 반사를 초래한다. 전자파에는 파동의 성질과 입자의 성질이 있는데, 파동의 성질은 전자파가 전기장과 동반한 횡파이고 평면파는 전장과 자장의 진동방향이 둘 다 진행방향과 직각인 면에 서로 수직이다. 전자파는 진공 속에서 광속도($c=2.998 \times 10^8 \text{m/sec}$)로 전파하고, 대기 중에서도 진공 속의 광속도와 거의 같은 속도로 전파한다. 입자적 성질은 전자파를 입자로 취급할 때 광자(photom) 또는 광양자라 하며 에너지(E)는 플랑크상수(h)와 진동수(ν)의 곱으로 나타낸다(Gupta R. P., 1991).

원적외선은 전자파의 일종으로서 가시광선의 적색파장보다 더욱 긴 파장측으로서 강한 열작용을 가진 복사선으로서 $4\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$ 파장영역을 갖고 있으며, 전자파는 물질에 닿으면 반사, 투과 및 흡수 등의 현상이 나타난다(고광철, 1992; 김완겸, 2004; 呂世靜 외, 2006). 열복사는 특정 파장대의 전자파를 정량화하기 위하여 흡수율이 1이고 반사율이 0인 가상의 물질인 흑체(black body)와 대비된 값으로 나타낸다.

원적외선 분광 분석은 산지별 전기석과 대조군인 옥광물을 200mesh 이하로 분말화하여 이용하였다. 분석조건은 40°C 에서 방사 에너지(radiant energy)를 $3.73 \times 10^2 \text{ w/m}^2$ 로 하여 한국전자재 시험연구원(KICM-FIR-1005 모델)에 의뢰하여 수행하였다.

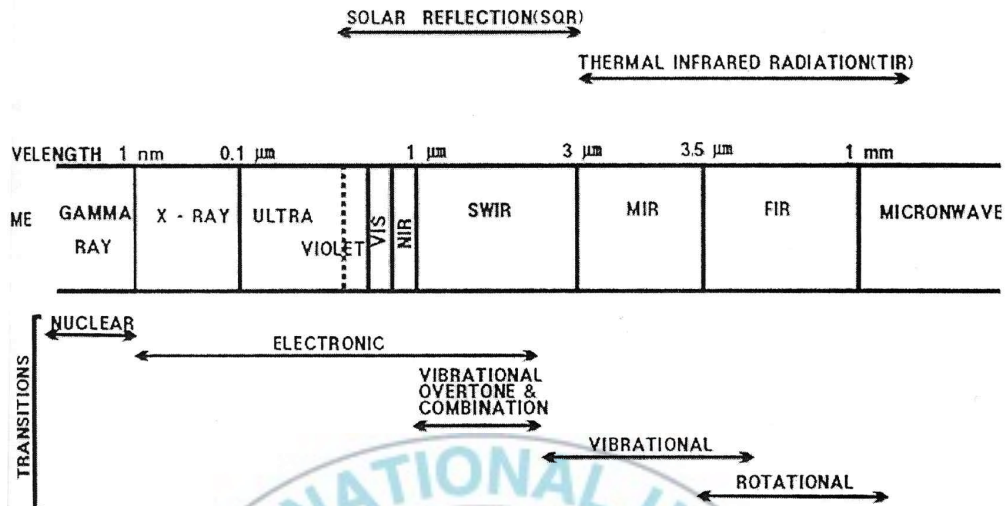


Figure 3. Spectrum analysis of electromagnetic waves.

4.6 핵자기 공명(NMR) 분석

핵자기 공명 스펙트럼은 핵의 자성을 이용해서 분자의 구조를 조사하는 것이기 때문에 측정대상이 되는 핵 종은 자성을 나타내는 것에 국한되며, 원자번호 또는 질량수가 홀수인 C, H, N, O 등이 주로 이용된다.

광물의 핵자기 공명 특성은 원자나 이온을 구성하는 전자에 의해서 달라지며, 핵 주위에서 운동하고 있는 전자는 하나의 파동으로 자기장을 형성한다. 광물결정은 외부적인 자기장에 의해서 원자들의 자기장이 일정한 방향으로 배열되면서 자기운동이 일어난다. 핵자기 공명분광은 원자핵이 자기장 속에 놓이면 핵의 고유한 양자적 성질에 따라 4-600MHz인 라디오 주파수의 전자기파를 흡수하거나 내어놓게 되는데, 이런 원리를 이용하여 분자의 구조나 운동성을 파악할 수 있다(Schroeder et al., 1999). 전자기파의 흡수를 위해 필요한 핵의 에너지 상태를 유발시키기 위해서는 시료를

높은 자기장에 놓아야 한다.

원자핵은 에너지를 흡수하여 평형상태로부터 반 평형상태로 전이될 수 있다. 분자에는 결합 할 사이의 진동과 마이크론 브라운 운동이 존재하고, 분자 에너지는 원자핵이 흡수한 에너지에 비교하면 월등하게 크다. 원자핵이 흡수한 에너지는 분자 에너지로 흡수되고 다시 원래의 에너지 상태로 돌아간다. 이때 완화된 에너지는 시간단위로 나타낸 물리적인 수치이지만 분자의 상태에 따라 달라진다. 분자운동이 활발하면 스핀격자의 완화 폭이 길어지고, 운동이 느리면 스핀격자의 완화 폭이 짧아진다. 핵자기 공명 신호로서는 스핀격자의 완화 폭이 길면 선폭이 좁아지고, 역으로 짧으면 선폭이 넓게 표현된다(한국원적외선협회, 2000).

이 연구에서 핵자기 공명 실험은 공명진동수 Liveweight 55.0849Hz (ANTITYPE, US-300)와 Observe ^{17}O , 40.6963938MHz, Decouple 1,300.1999269MHz를 모델로 한국기초과학지원연구원 분소인 부산대학 기초과학지원연구소에서 수행하였다.

4.7. 음이온 분석

이온 분석(Ion chromatography)은 물속에 있는 여러 이온을 동시에 분석할 수 있는 장점이 있어 다양한 환경물질과 지질시료 분석에 널리 사용되고 있다. 한편, 공기 중의 음이온은 음전기(-)를 띠, 눈에 보이지 않는 미립자를 말하며 탄산가스, 산소, 질소, 수소 등과 함께 공기 중에 포함되어 있다. 특히 음이온은 가볍기 때문에 대기 중에서 매우 활동적이며, 이 왕성한 활동력이 인간의 생명과 건강에 영향을 주는 에너지원으로 작용하는 것으로 알려져 있다(袁昌來, 2007; 鄭水林 외, 2004).

이 연구에서 수행된 음이온 분석기기와 분석 조건은 Table 7과 같다

Table 7. Analytical condition of ion chromatography.

IC : IS-1000, Dionex column : IONPAC AS14
Eluent : 3.5mM Na ₂ CO ₃ , 1.0mM NaHCO ₃
Injection volume : 25ml, Applied current : 24mA, Flow rate : 1.2ml/min
Suppressor : Anion self-regenerating suppressor (ASRS-ULTRA II, 4mm)
Detection : Suppressed Conductivity using a CD25

4.8. 건강증진 용도의 임상적 분석

4.8.1. 체온, 혈압 및 맥박의 측정

온열법(사우나)은 복사형태의 온열을 이용하여 땀을 배출하고 신진대사를 촉진하는 등의 효과를 얻는다. 온열법은 인체에 흡수가 잘되는 원적외선을 직접 조사하여 온열로 인체가 느끼는 부담을 적게 하면서 신진대사를 촉진시키는 방법이다. 이 연구에서는 전기석에서 방출되는 원적외선의 온열이 혈관 확장, 혈액순환 촉진과 신진대사 촉진으로 인체의 체온, 혈압, 맥박에 미치는 효과를 알아보기 위하여 연변(延邊)에 있는 전기석과 옥광물 온열에서 의사, 교수, 공무원 등 50명(남자 30명, 여자 20명)을 대상으로 비 동등성 대조군 전후 설계방식의 실험을 수행하였다.

피 실험자에 대한 초기 생리학적 상태의 측정은 약 25℃의 실내에서 체온, 혈압, 맥박을 측정하였다. 초기 안정 상태를 유지한 후에 휴식과 온열을 30분간 간격으로 2회에 걸쳐 측정하고, 또한 동일한 온도의 실내에서

30분간씩 휴식을 취한 후, 상기 항목들을 반복하여 각각 2회씩 재측정하였다. 측정 항목은 체온, 혈압 및 맥박이며, 체온은 신체의 중심체온으로 이용되는 귀 속의 온도를 측정하였다. 혈압은 동맥 혈압을 측정하고 맥박은 가속도 맥파를 세 차례 측정하여 평균값으로 나타내었다.

또한 전기석과 옥광물의 온열 지속 반응의 임상학적 결과를 비교하기 위하여 동일한 조건의 옥광물 온열에서도 실험을 수행하였다.

4.8.2. 전기석 비누의 피부 영향 측정

전기석은 물을 음이온화하는 동시에 약알칼리성으로 바꾸기 때문에 물과 접촉할 때 그 효과가 극대화된다(袁昌來 외, 2007; 韓躍新 외, 2004). 축적된 전자는 전기석이 물에 접촉하는 순간에 방전되고, 물은 수소이온(H^+)과 수산화이온(OH^-)으로 전기분해된다(王連軍 외, 2006). 그리고 수소이온은 전기석이 방출한 전자와 결합하여 수소원자가 되어 방출된다. 수산화이온은 물 분자와 결합하여 히드록실(hydroxyl) 형태의 음이온 계면활성 물질을 발생시킨다(陳麗芸, 2006). 이러한 과정에서 물은 수소이온이 감소되어 일반적으로 pH=7.5의 약 알칼리성의 성질을 띠게 된다.

이 연구는 전기석이 함유된 비누의 계면활성 물질이 여성들 피부에 미치는 효과를 알아보기 위하여 진행되었으며, 전기석이 함유된 비누를 제작하여 연변대학에 근무하는 여성 직원 및 대학생을 선정하여 비동등성 대조군 전후설계 방식의 실험을 실시하였다. 연구대상 및 자료 수집을 위해 피부가 좋은 사람(A그룹; 20명), 두드러기와 아토피 등으로 피부가 거칠거나 동상 등의 후유증으로 얼굴이 쉽게 붉어지는 문제성 피부를 가진 사람(B그룹; 20명), 보통 피부를 지닌 사람(C그룹; 10명) 등을 대상으로 실시하였다. 연구기간은 2010년 12월 1일부터 2011년 6월1일까지 약 6개월 소요되

었다.

표집 대상을 제한한 이유는 측정변수에 미치는 영향을 최소화하여 대상자의 동질성을 유지하기 위함이었다. 연구에서 실험군에게 전기석이 함유된 비누의 연구목적과 과정을 설명하고, 연구 참여에 동의를 구한 후, 전기석이 함유된 비누를 사용하기 전에 실험군의 현재 상태에 대한 설문을 작성하도록 하였으며, 전기석 비누사용 6개월이 경과한 뒤 실험군에게 동일한 설문지를 직접 작성하도록 하였다.



설문지

안녕하십니까?
 이 설문지는 학술연구를 위하여 전기석이 함유된 비누가 여성들 피부에 미치는 효과를 검토하기 위하여 실시합니다. 이 연구의 신뢰도를 높이기 위하여 진실하게 답변하여 주시기를 바랍니다. 이 조사의 결과는 학술 연구에 사용됩니다. 감사합니다.

성명()	나이()	직업(여교수, 여대생, 여공무원)	면 접 날 자 (2010.12.1)
설문항목	좋은피부	알레르기 피부	보통피부
내 피부는 어느 쪽에 속하는가?			
2010년 12월1일 2011년 6월1일			
원래보다 피부가 매우 좋아졌다.			
원래보다 약간 좋아졌다.			
효과를 느끼지 못하다.			
피부상태가 나빠졌다.			

제 5 장 연구 결과

5.1. 광물의 구조와 광학적 특성

전기석은 삼방정계에 속하며, L^3P-R3m 공간군을 갖는다(展杰, 2006). 단위포의 Z 값은 3이며($Z=3$), 상수 값은 $a=1.584-1.603nm$, $c=0.709-0.722nm$ 이다. 결정구조의 단위포 형태는 규산염 사면체 복삼방환으로 3개의 배위수를 갖는 삼각형을 형성한다. 여섯 개의 Mg (두개는 OH)는 산소를 공유하며, 규산염 사면체의 복삼방 환상의 간극에 Na^+ 가 채워진다. 배위수가 9인 환상의 $[AlO_5(OH)]$ 팔면체와 인접하여 있고, 규산염 사면체 $[SiO_4]^{4-}$ 가 육방정계 $[Si_6O_{18}]^{12-}$ 가 Mg^{2+} , O 및 OH 와 결합하여 구성된다. 또한 세 개의 연결된 $Mg-O_4(OH)_2$ 가 규산염 사면체 꼭짓점에서 O^{2-} 와 결합되어 육각형의 축상에 교점이 위치한다(Barton, 1969).

전기석에 대한 편광현미경과 전자현미경 관찰 결과, 모든 시료에서 일반적으로 주상(柱狀) 결정형 또는 세립상의 집합체 양상을 나타내며, 생성 환경의 차이에 의한 수직방향의 조선이 발달한다. 전기석의 산지에 따라 광물 공생특성의 차이를 보이나 일반적으로 흑운모, K-장석, 석영과 함께 수반된다. 장석입자 내부에 형성된 세맥을 따라 세립의 2차 광물로 치환되고 있으며, 일반적으로 치밀한 조직을 갖는다. 시료에서 공생광물인 운모류와 석영입자에 의해 미약한 방향성을 보이는 조직을 나타내며, 불투명 광물로서 황철석 및 황동석 등의 광물이 수반된다.

중국산 흑색 전기석(CT1)은 조립 또는 중립의 화강암을 비롯하여 세립 조직의 반화강암에서 산출된다(鄒仕庭, 1988; 向宇, 2003; 林善園 외, 2004). 편광현미경을 통한 박편 관찰에서 주 구성광물이 사장석, 알칼리 장석, 석영, 흑운모 및 각섬석 등이며, 소량의 인회석, 녹니석과 함께 불투명

광물 등이 관찰된다. 장석입자 내부에 형성된 세맥을 따라 세립의 황철석 및 황동석과 치환하고 있으며, 대체적으로 세립의 치밀한 조직으로 형성되어 있다(Fig. 4).

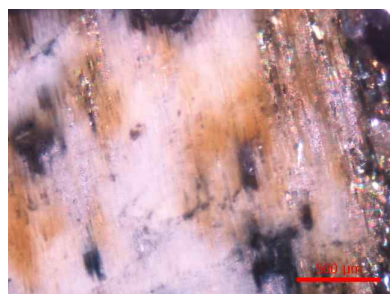
브라질산 흑색 전기석(BT1)은 페그마타이트 맥에서 생성되어 조립질 결정으로 산출된다. 기성 환경에서 열수변질작용의 영향을 받아 세립질 운모와 점토광물이 수반된다. 전기석 결정은 자형, 반자형을 형성하고 취편 쌍정이 관찰된다(Fig. 4). 브라질 분홍색 전기석(BT2)의 결정은 대체로 방사상 혹은 침상으로 성장하며, 각 광물의 입자 사이에서는 세립화된 전기석 결정이 관찰된다. 분홍색 전기석(BT2)은 결정의 중앙 부분이 석영과의 반응에 의한 반응흔을 가지며, 석영은 밀접하게 공생한다(Fig. 4).

한국 대유광산 흑색 전기석(DT1)은 화강암과 맥상으로 산출되는 전기석의 경계부분을 박편으로 제작함에 따라 상부에 보이는 선을 경계로 전기석 영역과 화강암 영역이 구분됨을 알 수 있다. 대유광산에서 산출되는 전기석은 철 전기석으로서 반상변정으로 산출되며, 사장석, K-장석, 흑운모 및 백운모로 이루어졌다. 구성광물들의 입자크기는 조립에서 세립까지 다양하며, 운모류와 석영입자에 의해 미약한 방향성을 보이는 조직을 나타낸다. 장석의 결정 경계면을 따라 관찰되는 석영은 아주 세립으로 나타나고, 경계부분은 불투명한 광물이 관찰된다. 장석입자 내부에 형성된 세맥을 따라 세립의 견운모와 석영입자가 치환하고 있으며, 대체적으로 세립의 치밀한 조직을 나타낸다(Fig. 4).

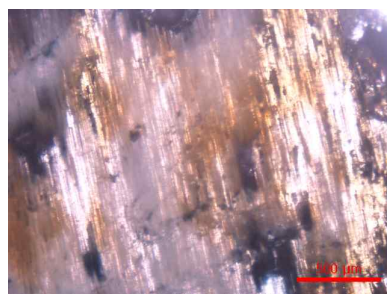
대조군 옥광물 조직을 살펴보기 위하여 편광현미경과 전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 중국 신강산 연옥(CN), 한국 춘천산 연옥(KN), 러시아 바이칼산 연옥(RN), 중국 요녕산 사문석옥(LS), 북한 사문석옥(NS), 중국 대흥안령 마노옥(CA)으로 가면서 입도가 치밀해짐을 알 수 있다(Fig. 5, 6). 옥광물의 생성은 원암의 변질작용에 기인되며, 주로 대리암의 1차적 변

성, 교대물질인 석회규산염대의 주된 광물인 투휘석의 결정들이나 또는 이와 수반되는 투각섬석 결정들을 교대와 변질작용 또는 재결정에 의해 형성되었다. 입도는 연옥>사문석옥>마노옥으로 가면서 작아지며, 마노옥은 은미정질구조로서 결정도가 낮다(Fig. 7).

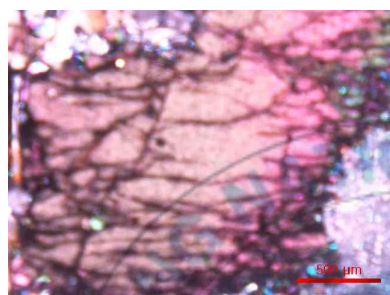




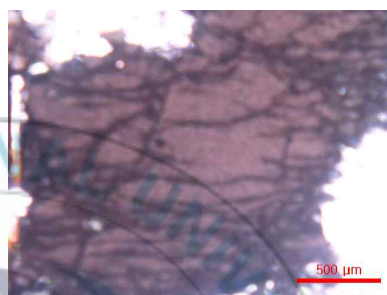
(CT1) Parallel Nicols



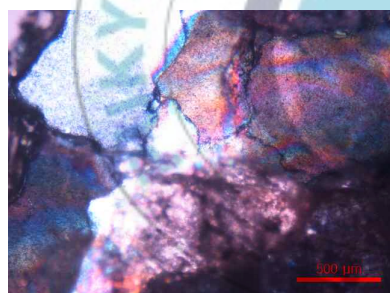
(CT1) Crossed Nicols



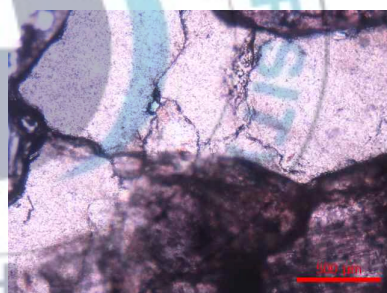
(BT1) Parallel Nicols



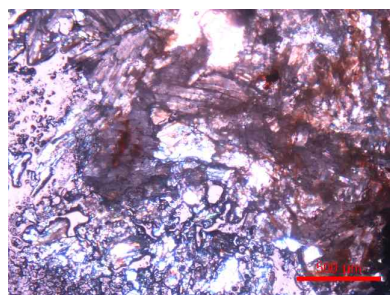
(BT1) Crossed Nicols



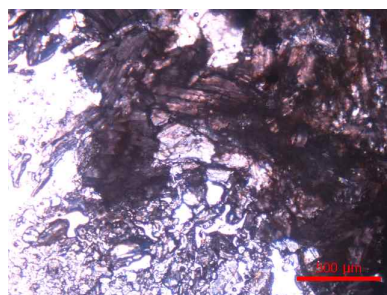
(BT2) Parallel Nicols



(BT2) Crossed Nicols

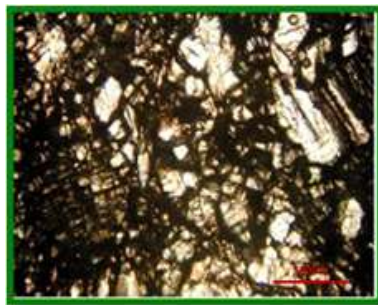


(DT1) Parallel Nicols



(DT1) Crossed Nicols

Figure 4. Microphotographs of tourmaline from China(CT1), Brazil(BT1 and BT2) and Korea(DT1). 4mm×10mm.



(CN) Parallel Nicols



(CN) Crossed Nicols

(A)



(NS) Parallel Nicols



(NS) Crossed Nicols

(B)

Figure 5. Microphotographs of nephrite from China(CN) and North Korea(NS). 4mm×10mm.

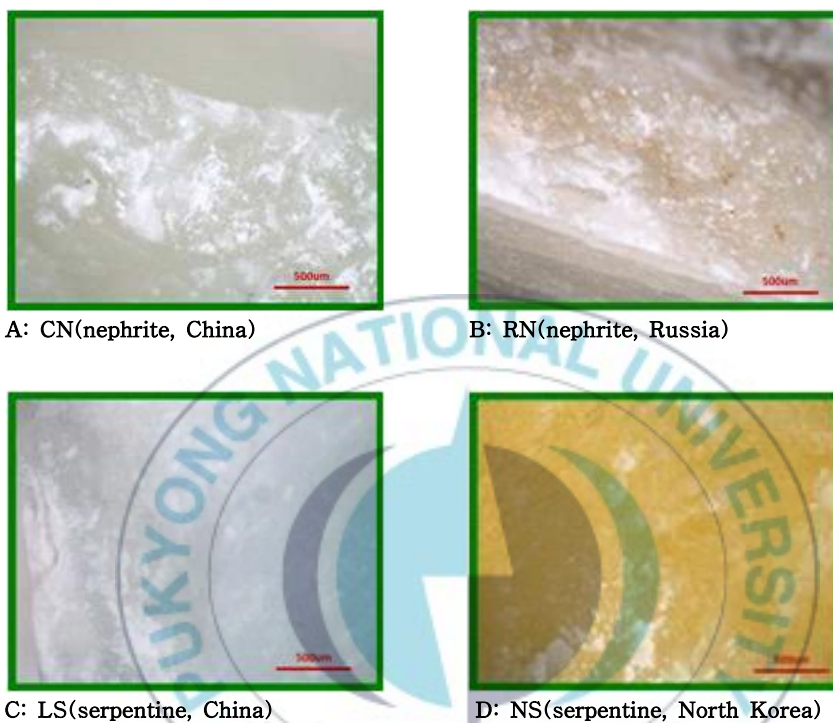
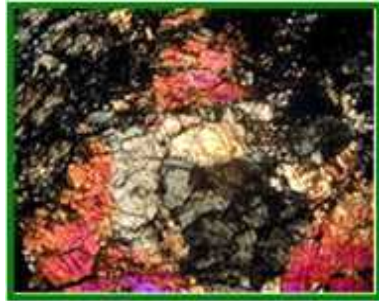
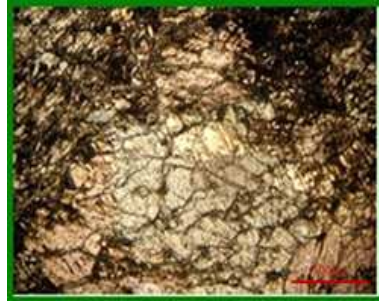


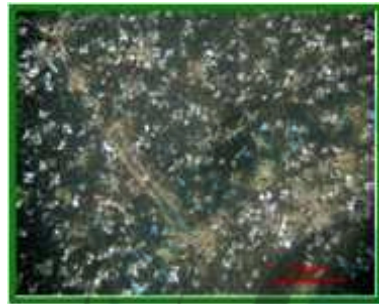
Figure 6. Microphotographs of serpentine from China(CN and LS), Russia(RN) and North Korea(NS).



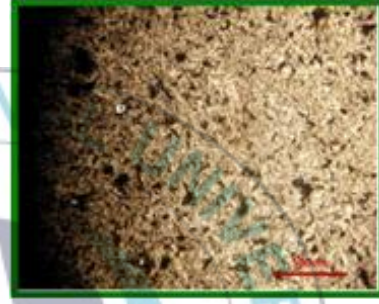
(KN) Parrallel Nicols



(KN) Crossed Nicols



(CA) Parrallel Nicols



(CA) Crossed Nicols

Figure. 7. Microphotographs nephrite(KN) and agate(CA). 4mm×10mm.

5.2. 결정학적 특성

X-선 회절 분석 결과, 산지에 구분없이 모든 시료에서 주 구성광물인 전기석과 밀접하게 수반된 광물은 석영으로 확인되었으며(Fig. 8, 9), 결정 구조는 삼방정계이다. 전기석의 결정구조는 일정한 범위의 변화를 갖지만 변화의 폭은 크지 않은 편이다. Applemen과 Evance(1973)에 의해 제안된 최소 자승법을 이용하여 2θ 값을 계산하였다(Table 8, 9). 중국산(CT1), 브라질산(BT1, BT2), 한국산(DT1)의 주된 회절 피크는 d(122), d(220), d(042) 및 d(012)로서 JCPDS 결과와 잘 일치한다(Table 8). 대상 시료는 철과 마그네슘 전기석 계열로서 다소 마그네슘 전기석의 특성이 강함을 나타낸다(Table 8).

산지별 시료의 단위포 상수(a)는 DT1= 15.98Å이 제일 크고, CT1=15.97Å, BT1=15.96Å, BT2=15.95Å 순으로 낮아진다. 단위포 상수(c)는 DT1=7.23Å, CT1=7.22Å, BT1=7.22Å, BT2=7.17Å 순으로 낮아진다. 단위포 체적은 DT1=1595.83Å³로서 가장 크고, 다음으로는 CT1=1595.77Å³ 순이며, BT1=1594.60Å³, BT2=1586.70Å³, 순으로 낮아진다.

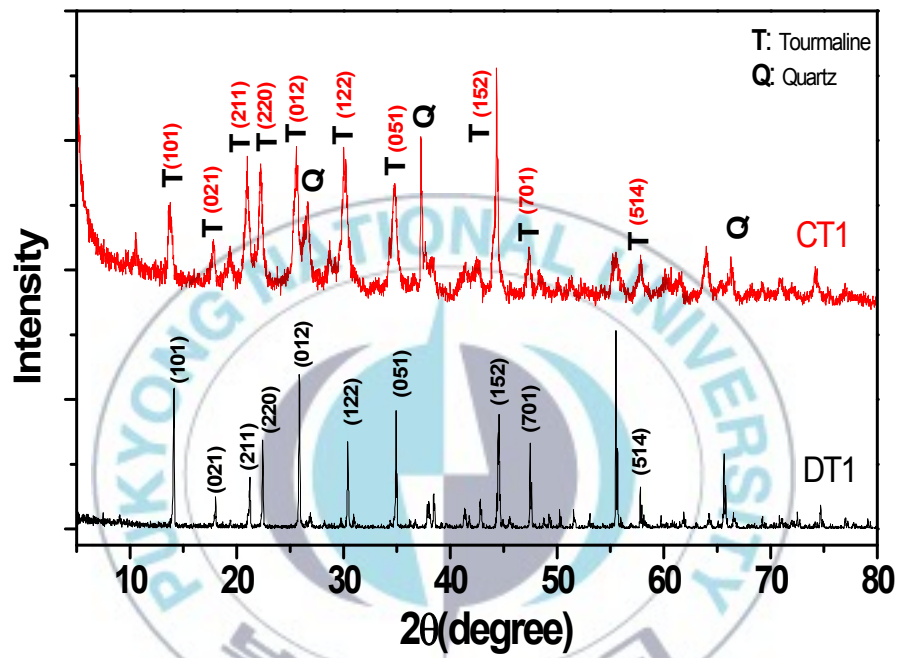


Figure 8. X-ray diffraction patterns of the studied CT1 and DT1 tourmalines.

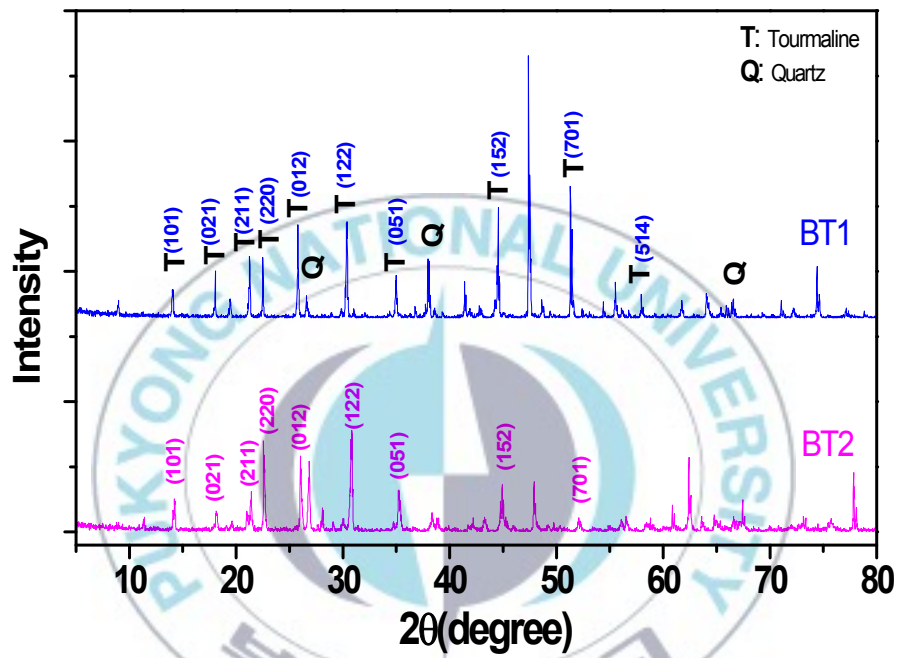


Figure 9. X-ray diffraction patterns of the studied BT1 and BT2 tourmalines.

Table 8. High-intensity reflections of the CT1, BT1, BT2 and DT1.

hkl	CT1	BT1	BT2	DT1	Fe-tourmaline*	Mg-tourmaline*
101	9.39	2.61	4.73	2.61	6.35	6.38
021	8.68	2.68	4.09	2.68	–	–
211	5.99	2.88	2.73	2.88	4.22	4.22
220	4.98	3.06	2.22	3.06	4.00	3.99
012	5.23	2.34	3.01	2.34	3.47	3.48
122	4.90	2.09	1.98	2.09	2.95	2.96
051	6.68	2.19	2.74	2.19	2.58	2.58
152	6.07	3.07	1.39	3.07	2.03	2.04
514	9.94	3.94	–	3.94	–	–

* R. V. Dietrich(1985)

Table 9. The cell parameters of tourmaline from the different location.

Parameter(Å)	CT1	BT1	BT2	DT1
a	15.97	15.96	15.95	15.98
c	7.22	7.22	7.17	7.23
v	1595.77	1594.67	1586.70	1595.83
c / a	0.45	0.45	0.45	0.45

5.3. 화학적 특성

5.3.1. 주성분원소 및 부성분 원소

중국산(CT1, CT2, CT3, CT4, CT5), 브라질산(BT1, BT2), 한국산(DT1)의 전기석 시료를 구성하는 주요 화학조성은 Si, Al, Fe, B, Ti, Mg, Ca, Na, Mn, K 및 Li 등이다(Table 10). 그 중 Si와 Al 성분이 가장 많이 함유되어 있으며, Si함량은 CT5(25.77%), CT2(23.56%), BT2(22.47%), CT4(20.42%), DT1(17.67%), CT1(17.47%), CT3(16.79%), BT1(15.92%)순으로 낮아진다.

Al함량은 BT2(20.80%), CT4(18.90%) CT5(18.74%), BT1(17.22%), DT1(16.95%), CT2(14.95%), CT3(14.32%), CT1(11.78%) 순으로 낮아진다.. 한편 B의 함량이 제일 높은 것은 CT3(3.65%)이며, 그 다음으로 BT1(2.84%), DT1(2.65%), CT5(2.54%), BT2(2.57%), CT1(2.30%), CT4(1.64%) 순이다. Fe함량은 DT1(13.06%)제일 높고 CT5(11.45%), CT4(9.34%), BT1(4.84%), CT2(3.96%), CT1(3.66%), CT3(2.75%), BT2(0.20%) 순으로 낮아진다. 화학조성으로 볼 때, 한국산 DT1 시료는 Fe 함량이 13% 이상으로 철 전기석에 속하며, 중국산(CT1, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5)과 브라질산(BT1, BT2) 시료는 Mg함량이 8% 이상으로, 일반적인 마그네슘 전기석에 해당된다.

Table 10. Electron microprobe analyses of tourmaline from China(CT1, CT2, CT3, CT4 and CT5), Brazil(BT1 and BT2), and Korea(DT1).

Elements	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	BT1	BT2	DT1
SiO ₂	37.38	50.41	35.92	43.69	45.13	34.05	48.07	37.81
Al ₂ O ₃	32.27	28.25	27.06	35.72	35.41	32.54	39.3	32.03
Fe ₂ O ₃	5.23	5.66	7.93	8.05	8.18	6.92	0.28	18.68
B ₂ O ₃	7.4	7.99	11.74	5.3	8.2	9.15	8.27	8.53
TiO ₂	1.48	0.11	0.73	0.502	0.15	1.58	n.d.	0.14
MgO	9.37	0.80	9.36	2.76	0.32	10.65	n.d.	0.99.
CaO	3.18	1.56	3.73	0.36	n.d	2.46	1.25	n.d.
Na ₂ O	1.82	1.15	1.77	1.50	1.80	2.12	1.16	1.39
MnO	0.18	0.08	0.03	0.17	0.66	n.d.	0.13	0.32
K ₂ O	0.1	0.19	0.05	0.45	0.14	0.22	0.64	n.d.
Li ₂ O ₃	n.d.	0.45	n.d.	n.d	n.d	0.18	0.26	n.d.
P ₂ O ₅	n.d.	1.76	1.5	0.13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CeO ₂	0.61	0.71	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nd ₂ O ₃	n.d.	0.35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Y ₂ O ₃	n.d.	0.19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ZrO ₂	n.d.	0.17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ThO ₂	n.d.	0.10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
AnO	n.d.	0.03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SrO	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	0.10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
K ₂ O	n.d.	0.19	n.d.	0.45	0.14	n.d.	n.d.	n.d.
ZnO	n.d.	n.d.	n.d.	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
NiO	n.d.	n.d.	n.d.	0.03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total	99.10	99.99	99.81	99.99	99.79	99.87	99.60	99.89
O=15.999								
Si	17.47	23.56	16.79	20.42	25.77	15.92	22.47	17.67
Al	11.78	14.95	14.32	18.90	18.74	17.22	20.80	16.95
Fe	3.66	3.96	2.75	9.34	11.45	4.84	0.20	13.06
B	2.30	2.47	3.65	1.64	2.54	2.84	2.57	2.65
Ti	1.28	0.78	0.63	0.43	0.13	1.37	n.d	0.12
Mg	5.65	4.82	5.64	1.66	0.19	6.42	n.d	0.60
Ca	2.27	1.12	1.24	0.26	n.d	1.76	0.89	n.d
Na	1.35	0.85	1.31	1.11	1.34	1.57	0.86	1.03
Mn	0.14	0.06	0.02	0.13	0.51	n.d	0.64	0.25
K	0.08	0.16	0.04	0.37	0.12	0.18	0.53	n.d
Li	n.d.	0.10	n.d	n.d	n.d	0.04	0.06	n.d
Total	45.98	50.26	46.39	52.62	58.06	52.12	48.96	49.33

n.d. : not detected

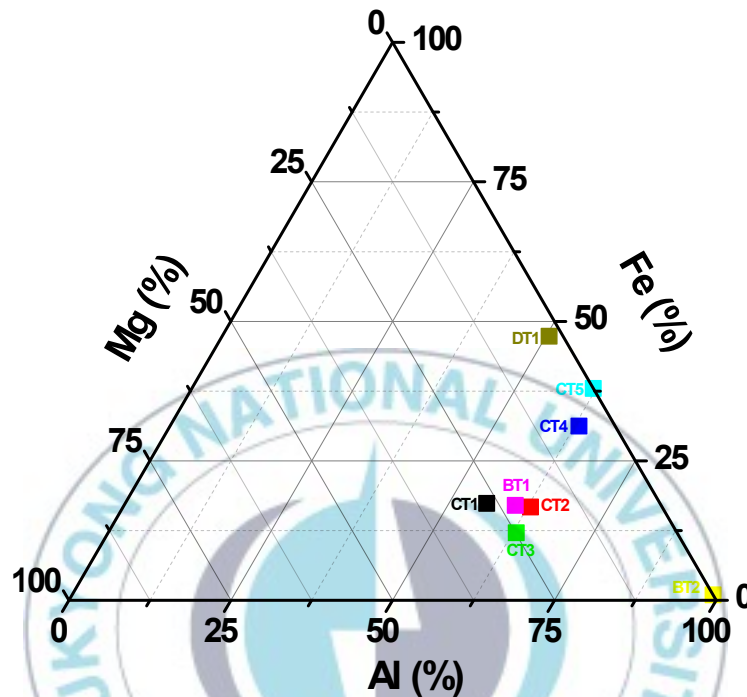


Figure 10. Major element combination of the studied specimens from the different locality.

연구대상의 전기석은 Y-사이트에 속하는 금속원소의 특징에 의해 높은 Fe 및 Al 함량을 갖는 유형으로 구분되며, 그 중 Fe 함량이 높은 경우는 CT4, CT5, BT2 및 DT1이며, 상대적으로 낮은 Al 함량을 갖는다. 한편 Al 함량이 높으면 Fe 함량이 감소되며, Mg 함량이 높은 CT1, CT2, CT3, BT1 유형과 Mg이 거의 함유되지 않은 유형(BT2)으로 구분된다(Fig. 10).

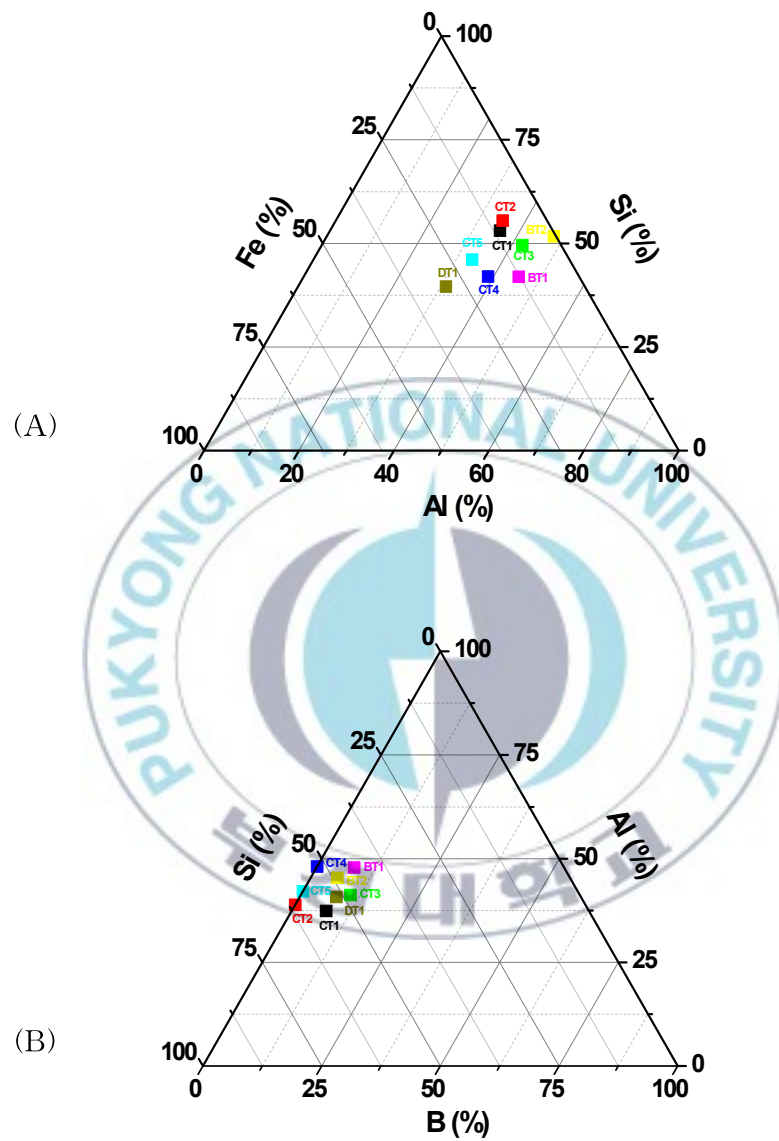


Figure 11. Major element combination of the studied specimens from the different locality.

Si-Fe-Al과 Si-B-Al의 함량비의 특성은 분석시료 대부분에서 유사한

함량비의 특성을 나타낸다(Fig. 11A). Si함량과 대비한 Fe와 Al 및 B와 Al의 함량 비는 유사한 특성을 갖으며, 그 중 B와 Al 함량 비는 일정한 값을 나타낸다(Fig. 11B).

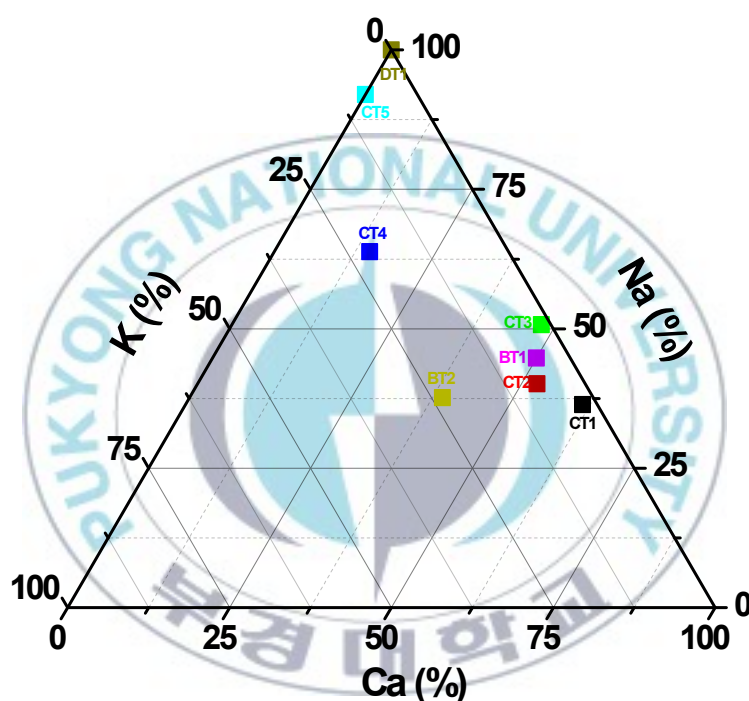


Figure 12. Major element combination of the studied specimens from the different locality.

Ca-K-Na의 함량비는 높은 K 함량과 낮은 Ca 함량을 갖는 유형(CT5, CT4, BT1) 및 높은 Na 함량과 낮은 K 함량을 갖는 유형(CT1, CT2, CT3, BT1, BT2)으로 구분되며, Na와 Ca의 함량비는 Na 함량이 높을수록 Ca 함량이 낮아지는 경향을 띤다(Fig. 12).

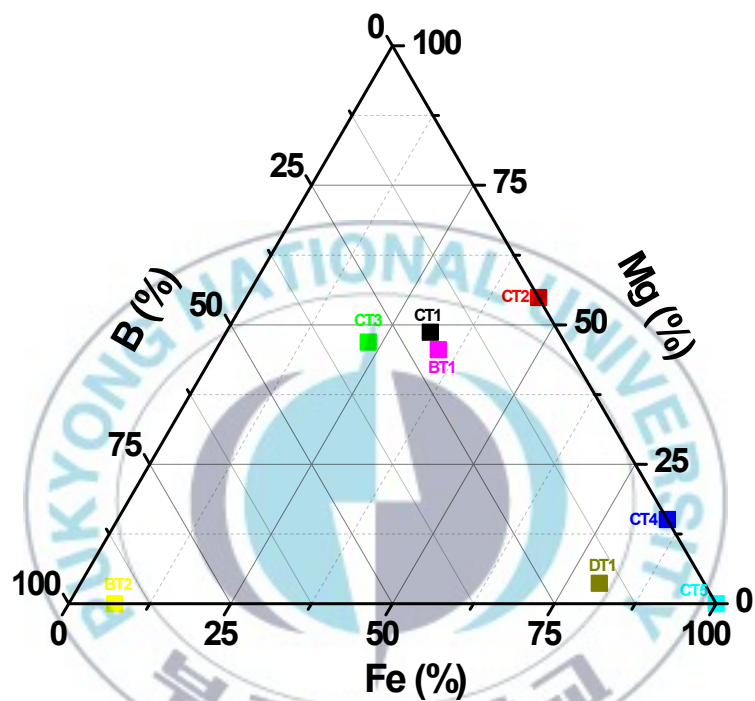


Figure 13. Major element combination of the studied specimens from the different locality.

Mg-Fe-B의 함량비는 Fe 함량이 높은 유형(CT4, CT5, DT1)과 B 함량이 높은 유형(CT1, CT2, CT3, BT1)으로 구분되며, Fe와 B의 함량은 각각 종성분 원소(end-member elements)로서 상대적인 함량비를 갖는 치환 특성을 나타낸다. 그러나 Mg 함량과는 일정한 규칙을 갖지 않는다(Fig. 13).

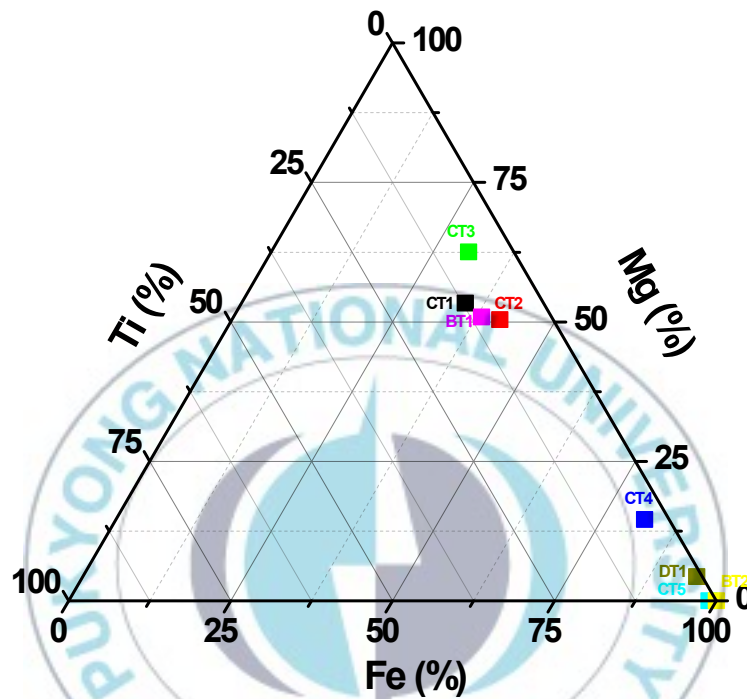


Figure 14. Major element combination of the studied specimens from the different locality.

Mg-Fe-Ti 함량비는 높은 Mg 함량과 낮은 Fe 함량을 갖는 유형(CT1, CT2, CT3, BT1) 및 높은 Fe 및 Mg 함량과 낮은 Ti 함량을 갖는 유형(BT2, DT1, CT4, CT5)으로 구분된다. 이러한 결과는 Mg과 Fe 및 Mg, Fe과 Ti성분의 상대적인 치환 특성을 반영한다(Fig. 14).

Table. 11. $\text{CaO}/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ and $\text{MgO}/\text{FeO}+\text{MgO}$ ratios of the studied tourmalines.

No.	MgO	FeO	$\text{MgO}/\text{FeO}+\text{MgO}$	CaO	Na_2O	$\text{CaO}/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$
CT1	9.37	19.66	28.74	3.18	1.82	0.63
CT2	0.80	19.96	0.29	1.56	1.15	0.37
CT3	9.36	18.75	0.33	3.73	1.77	0.49
CT4	2.76	25.34	0.09	0.36	1.50	0.19
CT5	0.32	27.46	3.64	0.01	1.80	0.01
BT1	10.96	20.84	0.45	2.46	2.12	0.54
BT2	0.01	16.20	6.17	1.25	1.16	0.34
DT1	0.99	29.06	0.03	0.01	1.39	0.01

$\text{CaO}/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ 과 $\text{MgO}/\text{FeO}+\text{MgO}$ 의 함량비는 $R=0.714$ 인 높은 정(+)의 상관관계를 띠며, BT2와 CT1은 상대적으로 높은 $\text{CaO}/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ 비를 나타낸다. 중국산 시료는 전반적으로 다양한 비를 갖는 분포를 가지나 브라질산 시료는 다소 높은 $\text{CaO}/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ 와 $\text{MgO}/\text{FeO}+\text{MgO}$ 의 특성을 띤다(Table 11). 한편, 한국산 시료(DT1)는 0.5 이하로서 낮은 $\text{CaO}/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ 와 $\text{MgO}/\text{FeO}+\text{MgO}$ 함량비를 나타낸다(Table 11, Fig. 15).

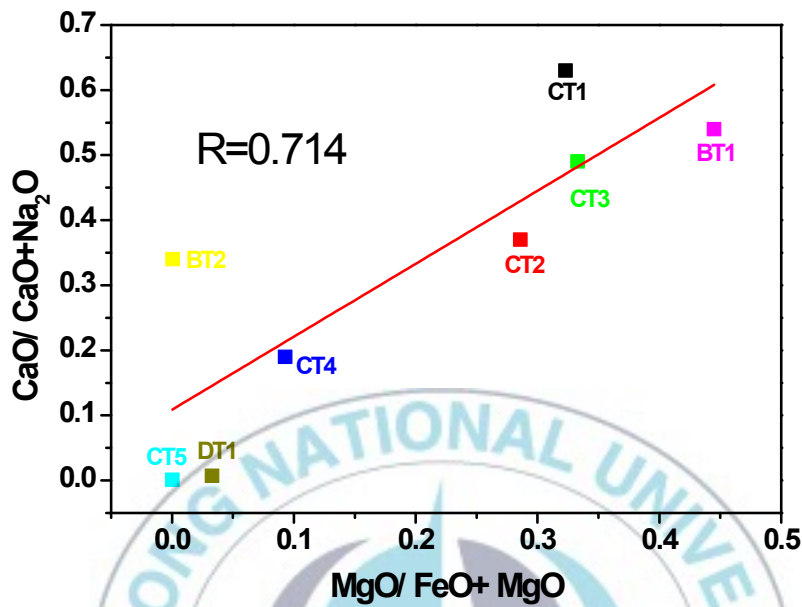


Figure 15. Linear regression analysis between composition ratios of the studied tourmalines.

5.3.2. 미량원소

유도결합 플라즈마 분광법의 경우, 기기의 검출 한계가 매우 낮기 때문에 극미량으로 존재하는 중금속의 측정이 가능하고, 측정값의 재현성 및 신뢰성 면에서 기타 측정방법과 비교하여 매우 안정된 측정값을 제공하는 유용한 분석방법이다. 물질을 구성하는 성분 중에 미량으로 존재하는 성분이 광물의 특성과 활용에 큰 영향을 미칠 수 있다(李奮平 외, 2007). 미량원소 분석결과는 환경 중금속의 함유 특성을 규명하기 위하여 수행하였다.

중국산(CT1), 브라질산(BT1, BT2), 한국산 (DT1) 및 대조군 옥광물로

는 중국산(CN, LS, CA), 한국산(KN), 러시아산(RN), 북한산(NS)에서 분석된 미량원소는 Cr, Ni, Zr, Zn, Co, Ga, 및 Cu로서 주로 알칼리 금속이다. 산지별 전기석과 대조군 옥광물의 미량원소는 성분과 함량이 다양한 양상을 갖는다(Table 12, Fig. 16).



Table 12. Chemical concentrations(ppm) of trace elements in tourmaline, nephrite, serpentine and agate determined by inductively coupled plasma mass spectroscopy(ICP).

No.	Cr	Co	Cu	Ga	Ni	Zn	Zr
Tourmaline							
CT1	56.89	37.81	8.57	23.85	17.64	63.8	10.12
BT1	31.88	56.4	9.96	16.2	n.d.	34.05	21.62
BT2	n.d.	14.97	15.1	16.78	n.d.	53.25	19.62
DT1	66.58	n.d.	37.91	55.41	n.d.	40.79	n.d.
Nephrite							
CN*	16.3	1.7	98.5	16.2	6.8	58.6	63.0
KN*	67.7	111.2	288.2	18.6	12.9	169.7	4.1
RN*	74.9	219.6	337.2	5.2	889.2	235.8	2.6
Serpentine							
LS*	19.5	177.5	101.8	8.0	5.6	41.0	8.0
NS*	95.5	3.2	337.3	5.9	0.9	130.7	2.4
Agate							
CA*	16.3	1.5	98.5	16.2	6.8	58.6	63.0

n.d. : not detected. * Yan Jie(2006)

전반적으로 볼때 미량원소의 함량은 연옥이 가장 높으며, 사문석옥, 전기석, 마노옥의 순으로 낮아진다(Table 12). 원소별도는 Co 함량이 가장 높으며, Ni 경우는 러시아 연옥이 타 산지에 비해 비정상적으로 높은 함량(889.2ppm)을 나타낸다.

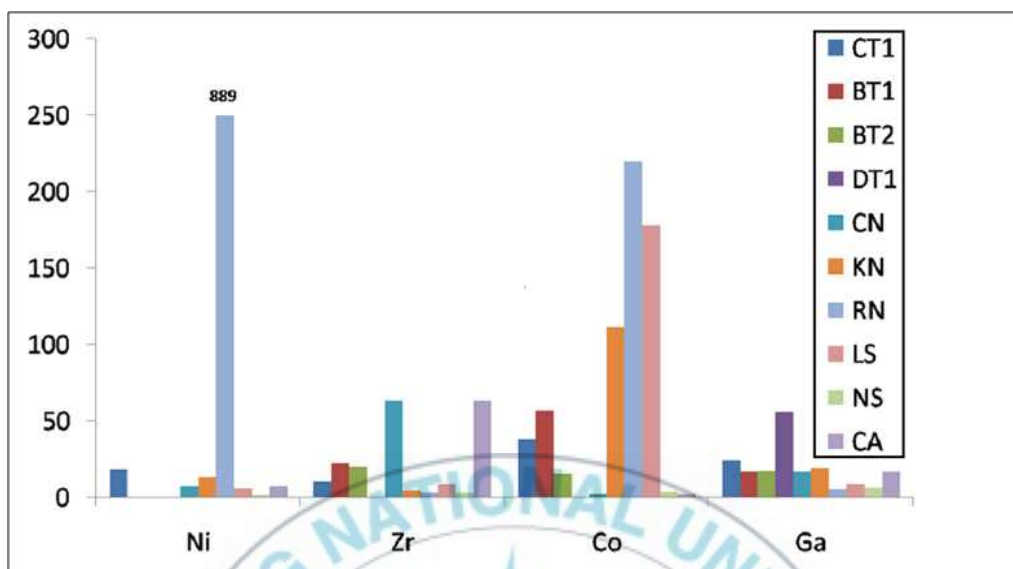


Figure 16. Concentrations(ppm) of Ni, Zr, Co and Ga in the tourmaline, nephrite, serpentine and agate.

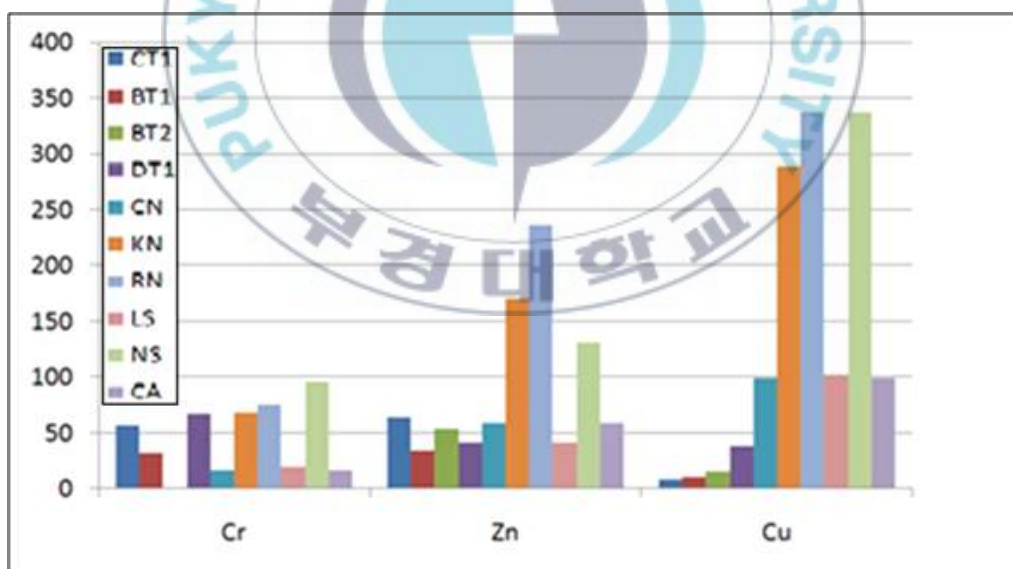


Figure 17. Concentrations(ppm) of Cr, Zn and Cu in the tourmaline, nephrite, serpentine and agate.

환경중금속에 속하는 Cr, Zn 및 Cu 함량은 광물종류와 산지별로 다양한 양상을 나타낸다(Fig. 17). 원소별도는 상대적으로 Cu의 함량이 높고 Zn, Cr순으로 낮아진다. 또한 Cu는 러시아 연육 한국연육 및 북한산 사문 석육이 매우 높은 함량(약 300ppm)을 나타내며, 전기석은 40ppm이하로 낮은 결과를 갖는다(Table 12). 러시아 연육은 다른 원소와 마찬가지로 환경중금속 원소의 함량은 타 산지에 비해 매우 높다.

실험결과 환경독성 중금속으로 포함되는 Cr은 NS(95.5ppm)이 가장 높으며 RN(74.9ppm), KN(67.7ppm), DT1(66.58ppm), CT1(56.89ppm), BT1(31.88ppm), LS(19.5ppm), CN(16.3ppm), CA(16.3ppm) 순이다. Cu는 NS(337.3ppm)가장 높으며 RN(337.2ppm), KN(288.2ppm), LS(101.8ppm), CN(98.5ppm), CA(98.5ppm), DT1(37.91ppm), BT2(15.1ppm), BT1(9.96ppm), CT1(8.57ppm) 순으로 낮아진다. Ga은 DT1(55.41ppm), CT1(23.85ppm), KN(18.6ppm), BT2(16.78ppm), BT1(16.2ppm), CA(16.2ppm), CN(16.2ppm), LS(8.0ppm), NS(5.9ppm), RN(5.2ppm) 순으로 낮아진다. Ni은 RN(889.2ppm)가장 높으며, CT1(17.64ppm), KN(12.9ppm), CN(6.8ppm), CA(6.8ppm), LS(5.6ppm), NS(0.9ppm)이고 기타 산지는 검출되지 않았다. 한편 Zn는 RN(235.8ppm)로서 가장 높으며, 다음으로 KN(169.7ppm), NS(130.7ppm) 순이다. 미량원소 분포특성에서 볼 때 옥광물은 전기석보다 다양한 원소를 함유하며, 상대적으로 모든 원소의 함량이 높다(Table 12).

한국산 전기석(DT1)은 타 지역보다 높은 상대적으로 높은 Cr, Cu, 및 Ga을 함유하며, Co, Ni, Zi은 함유되어 있지 않다. 브라질산 전기석(BT1, BT2)은 Co 함량이 타 지역보다 높으며 Cr을 함유하지 않는다(Table 12).

5.4. pH - Eh(DO) 조절 작용

전기석의 전극성은 물의 산화 및 환원 전위에 영향을 준다(Kubo, 1989). 작은 에너지 파동이 O-H 안정성을 저하시켜 양성자(H^+)로 전이를 촉진하기 때문이다. 전기석 입자 표면 부근의 전기장으로 인해 이온의 전이에 영향을 주게 되면 물 분자의 이온화가 촉진되어 용액의 pH를 조절하며, 약 알칼리성으로 된다. 일반적으로 전기석은 물의 pH를 8.0 근처에 유지시킨다. 이는 전기석의 표면에서 전극성이 달라지기 때문에 생기는 결과이다(冀志江 외, 2002; 梁岩 외, 2007). 한편 전기석과 물의 작용에서 대기 중의 O_2 가 유입되어 H_2 와 반응을 한다는 것이 연구되었다(湯云暉, 2001).

pH와 DO의 조절 실험은 2차 증류수 200ml에 전기석 분말 및 옥 분말 15g을 넣고 3시간, 6시간, 1일, 2일, 5일 경과 후의 변화를 측정하였으며(Table 13, 14), 또한 같은 비율로 2차 증류수에 전기석 입자와 대비군 옥 광물 입자를 넣어, 3시간 6시간 1일 경과 후와 대비하였다(Table 17). 또 같은 비율로 수돗물에 12시간 1일, 2일 경과 후의 변화결과 이며(Table 15), 그리고 전기석의 일반적인 용도를 감안하여 수돗물 50ml에 전기석 분말을 5g, 10g, 15g으로 함량을 달리하며 투입 하였을 때의 pH의 변화를 관찰한 결과는 Table 18과 같다.

Table 13. DO variations of distilled water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), nephrites(RN and CN) and serpentine(NS and LS) powder.

No.	3 hours DO	6 hours DO	1 day DO	2 days DO	5 days DO
Tourmaline					
CT1	10.50	10.60	9.40	9.30	10.10
BT1	11.40	11.40	9.50	9.20	9.90
BT2	11.50	11.60	9.50	9.70	9.80
DT1	12.00	12.20	9.60	9.50	9.80
Nephrite					
RN	11.17	11.40	9.40	9.30	9.70
CN	11.60	11.80	9.50	9.20	9.70
Serpentine					
NS	11.90	12.00	9.60	9.40	9.80
LS	12.10	12.30	9.50	9.30	9.80

증류수(200ml)에 전기석, 연옥 및 사문석옥의 분말 (15g)을 첨가하여 시간 경과에 따른 DO변화를 측정하였다. 초기 증류수의 DO는 10.6-12.3범위로서 광물 첨가에 따라 초기 6시간동안은 미약한 증가를 나타냈으나 1일 경과후에는 급격한 DO의 감소(DO=9.6이하)가 확인되었다. 이후 2일 및 5일 까지는 완만한 증가를 보인다(Table 13, Fig. 18).

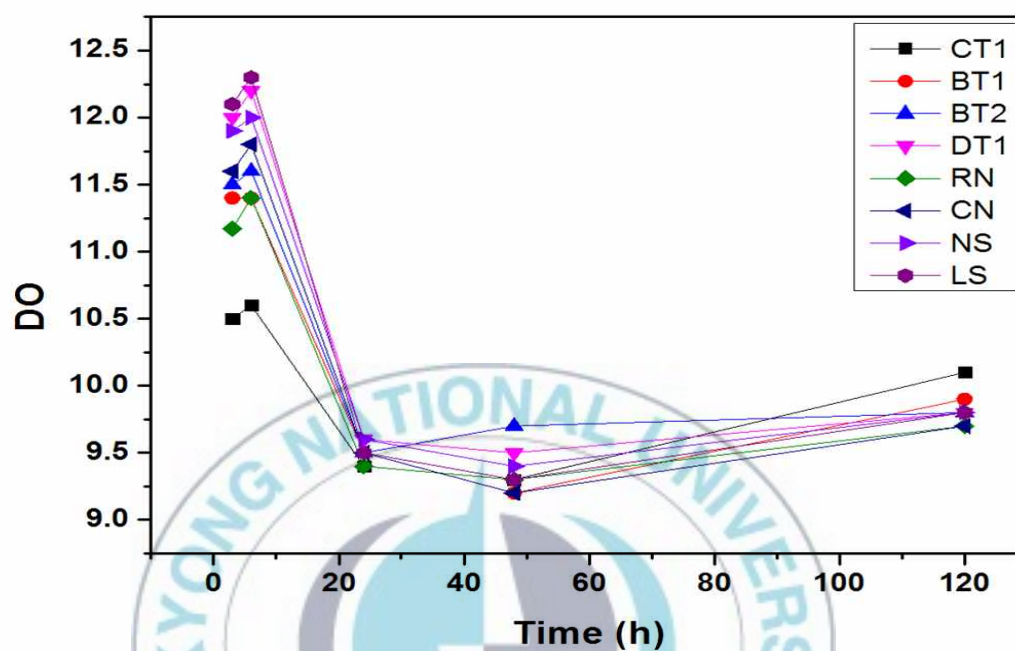


Figure 18. DO variations of distilled water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), nephrite(RN and CN) and serpentine(LS and NS) powders.

Table 14. pH variations of distilled water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), nephrites(RN and CN) and serpentine(NS and LS) powder.

No.	0 hours pH	6 hours pH	1 day pH	2 days pH	5 days pH
Tourmaline					
CT1	5.80	6.52	7.23	7.21	7.20
BT1	5.80	6.54	7.25	7.23	7.22
BT2	5.80	6.53	7.22	7.22	7.21
DT1	5.80	6.55	7.26	7.27	7.26
Nephrite					
RN	5.80	6.01	6.15	6.13	6.10
CN	5.80	5.99	6.10	6.08	6.07
Serpentine					
LS	5.80	5.98	6.08	6.06	6.05
NS	5.80	6.02	6.13	6.12	6.11

증류수에 전기석 첨가에 의해서는 전반적으로 pH는 1일 경과후 pH=7.22-7.26 범위로써 강한 증가를 나타내며, 이후 5일 경과시까지 pH=7.21-7.26 범위로써 안정화 된다.

한편 옥분말의 첨가에 의해서는 전기석에 비해 초기에 다소 낮은 pH=6.08-6.15 범위를 나타내며, 5일 경과후 pH=6.05-6.11 범위로 확인되었다(Table 14, Fig. 19).

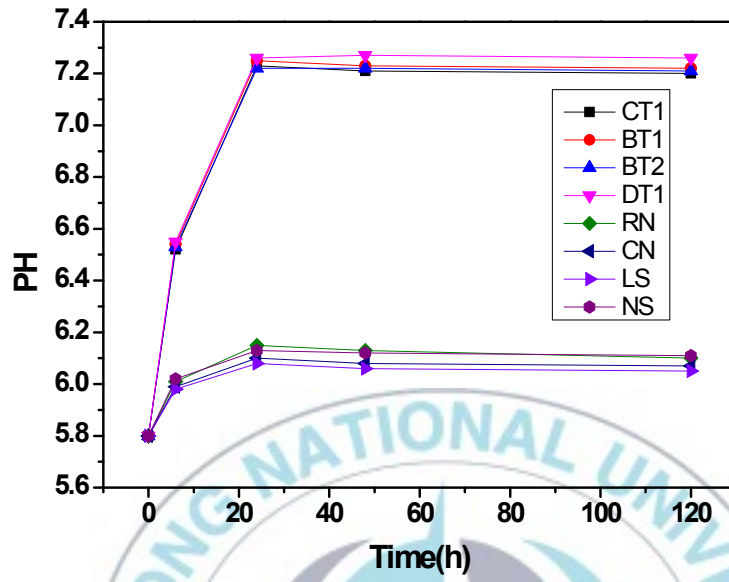


Figure 19. pH variations of distilled water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), nephrite(RN and CN) and serpentine(LS and NS) powders.

Table 15. pH variations of running water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), and serpentine NS powder.

No.	0 hours pH	12hours pH	1day pH	2day pH
Tourmaline				
CT1	6.60	7.24	7.70	7.72
BT1	6.60	7.26	7.72	7.73
BT2	6.60	7.28	7.74	7.75
DT1	6.60	7.25	7.75	7.78
Serpentine				
NS	6.60	6.90	6.95	6.92

수도물에서 전기석의 1일 경과후 pH=7.24-7.28 범위로 강한 증가를 나타내며, 이후 5일 경과 후에는 pH=7.72-7.28로서 안정화된다.

한편 옥분말의 첨가에 의해서는 전기석에 비해 초기에 다소 낮은 pH=6.90를 나타내며, 5일 경과후 pH=6.92로 확인되었다(Table 15, Fig. 20)

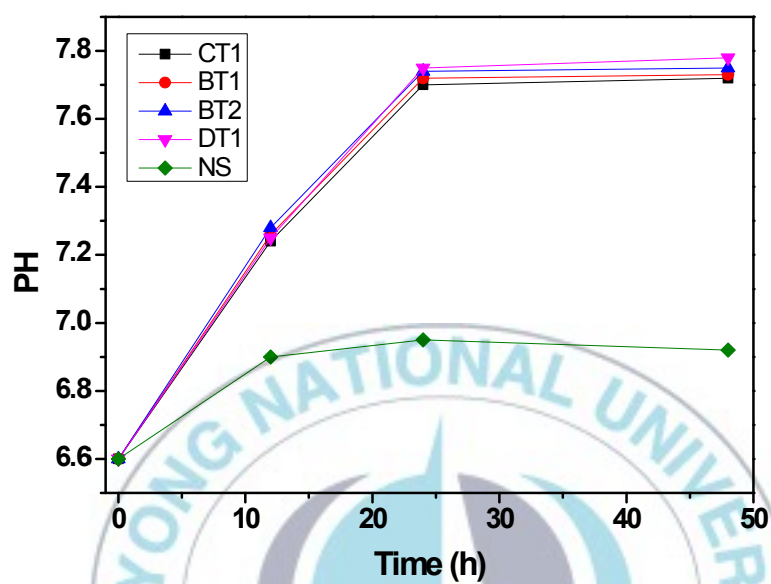


Figure 20. pH variations of running water changed with reaction time for the studied tourmaline(CT1, BT1, BT2 and DT1), and serpentine(NS) powders.

Table 16. DO variation of distilled water after react with tourmaline and serpentine grains.

No.	3 hours	12 hours	1day
	DO	DO	DO
Tourmaline			
CT1	9.00	9.30	8.60
BT1	8.90	8.80	8.60
BT2	9.40	9.30	8.80
DT1	8.80	8.70	8.30
Serpentine			
NS	10.0	9.90	9.3

증류수(200ml)에 전기석, 연옥 및 사문석옥의 입자(15g)를 첨가하여 시간 경과에 따른 DO변화를 측정하였다. 초기 3시간 후 DO는 8.90-10.0 범위로써 1일 경과 후에는 급격한 DO의 감소(DO=8.30이하)가 확인되었다. 한편 NS의 DO는 초기 DO=10.0에서 DO=9.3로 감소되는 결과를 보여준다.(Table 16, Fig. 21).

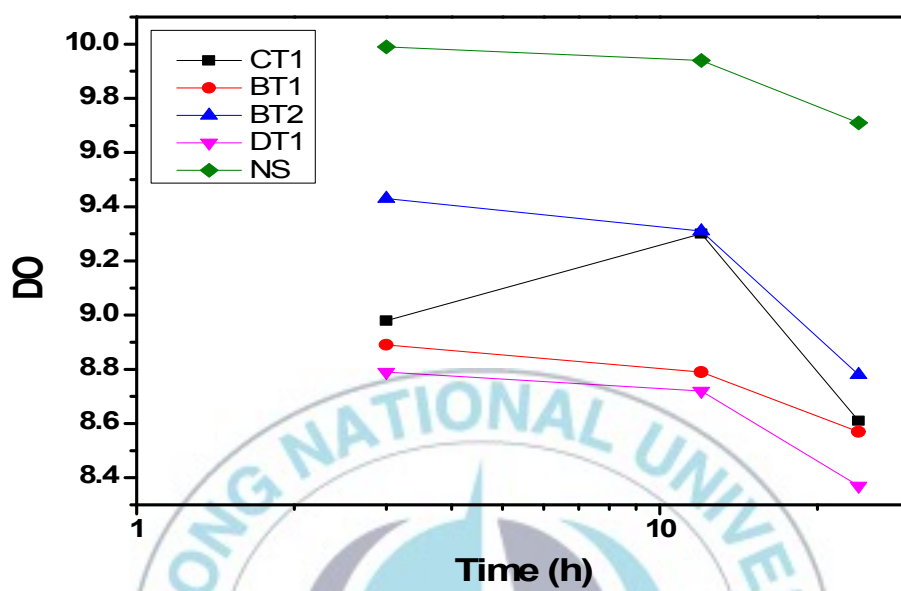


Figure 21. DO variation of distilled water after reacted with tourmaline and serpentine grains.

Table 17. pH variation of distilled water after react with tourmaline and serpentine grains.

No.	3 hours	12 hours	1day
	pH	pH	pH
Tourmaline			
CT1	7.20	8.20	7.90
BT1	7.20	8.40	8.10
BT2	7.30	8.50	8.20
DT1	7.20	8.30	8.00
Serpentine			
NS	6.70	7.10	7.30

입자인 경우 12시간일 때 전기석은 pH=8.20-8.50 범위로 증가한 양상을 보였고 1일 후에는 pH=7.90-8.20 범위로 감소한 양상을 보였다. 북한산 옥의 경우는 시간경과에 따라 pH=6.70-7.30 범위로 지속적인 증가양상을 나타낸다(Table 17, Fig. 22).

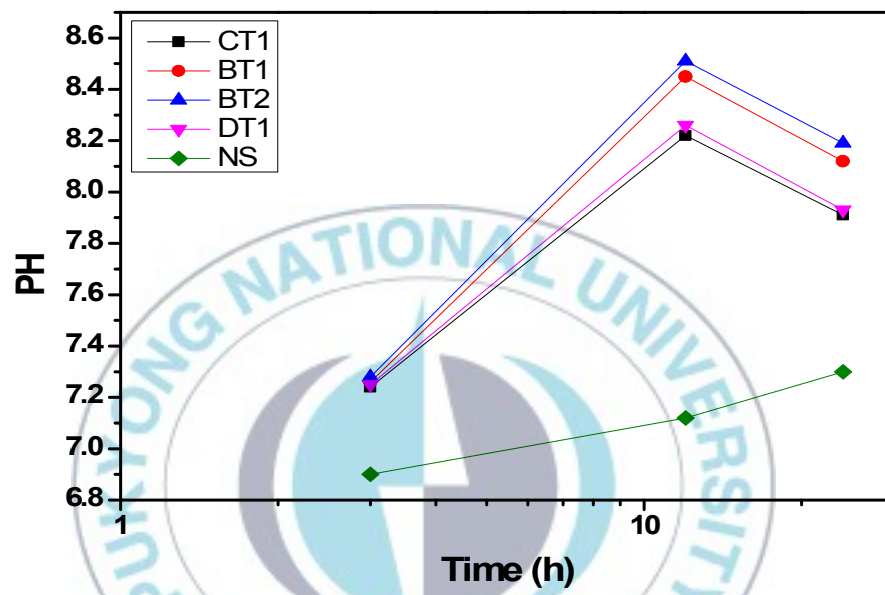


Figure 22. pH variation of distilled water after reacted with tourmaline and serpentine grains.

Table 18. pH variations of water changed with reaction time for studied tourmaline, nephrite and serpentine powders.

No.	5g	10g	15g
Tourmaline			
CT1	7.88	8.35	8.50
BT1	7.91	8.41	8.65
BT2	7.92	8.42	8.71
DT1	7.89	8.37	8.52
Nephrite			
RN	6.71	6.76	6.81
CN	6.81	6.85	6.95
Serpentine			
NS	6.95	6.99	7.01
LS	6.92	6.94	6.99

증류수 50ml에 전기석의 첨가량에 따른 1일후 pH변화는 첨가 함량이 5g에서 15g으로 많을수록 pH는 7.9에서 8.4이상으로 증가한다. 그러나 옥은 첨가량 증가에 따라 뚜렷한 변화를 나타내지 않는다(Table 18, Fig. 23).

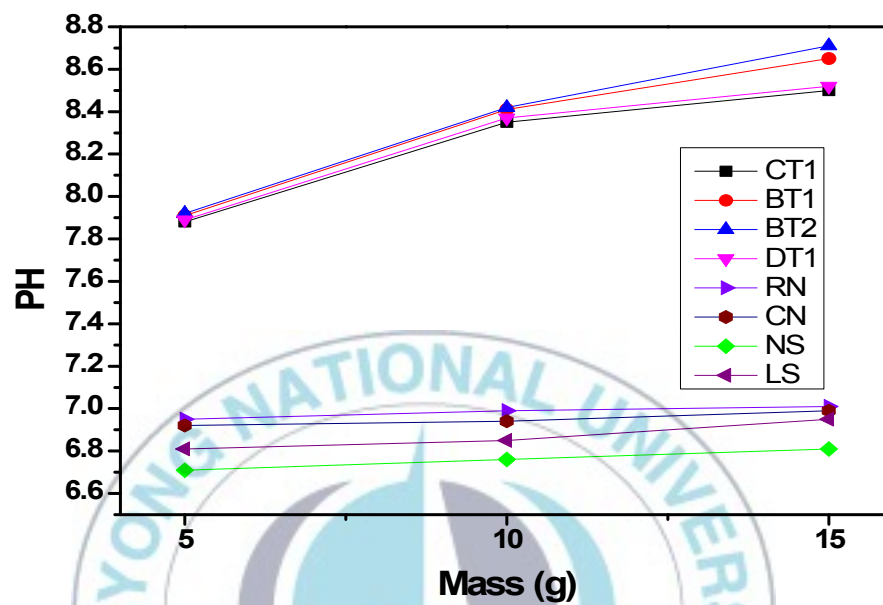


Figure 23. pH variations of water changed with reaction time for studied tourmaline, nephrite and serpentine powders.

5.5. 분광학적 특성

5.5.1. 푸리에 변환 적외선 분광 특성

이 연구에서는 전기석의 산지에 따른 구조상 결합형태의 차이점, 화학 조성과 결정학적 특성을 파악하기 위하여 대표적 시료 3개(CT1, BT1, DT1)를 대상으로 FT-Raman 분광분석을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 24, 25, 26와 같다.

CT1 시료와 BT1 및 DT1 시료는 $400\text{--}500\text{cm}^{-1}$ 에서 흡수율이 낮은 예리한 피크를 나타낸다. 세 시료 모두에서 500cm^{-1} 근처에는 Si-O 구조에 의한 진동 스펙트럼대가 형성되었으며, CT1 시료는 509cm^{-1} 을 중심으로, BT1 시료는 512cm^{-1} 에서 비대칭성의 예리한 피크를 나타낸다. DT1 시료는 1439cm^{-1} 를 중심으로 대칭성을 지니는 흡수 피크를 갖으며, $500\text{--}1439\text{cm}^{-1}$ 에서 비교적 강한 흡수 피크를 갖는다. CT1과 BT1 및 DT1 시료는 각각 713cm^{-1} 과 780cm^{-1} 및 728cm^{-1} 근처에서 비교적 강한 투과율을 나타낸다.

분석된 전기석 중의 CT1 시료는 1264cm^{-1} 근처에서 붕소 양이온의 흡수에 의한 강한 흡수스펙트럼을 나타낸다(Fig. 24). BT1과 DT1 시료는 462cm^{-1} , 728cm^{-1} , 880cm^{-1} , 1439cm^{-1} 에서 강한 흡수스펙트럼을 형성한다. 그 밖에도 피크는 2524cm^{-1} 에서 수 개의 흡수스펙트럼이 형성되며, 이러한 피크는 물 흡수에 의한 특정 스펙트럼으로, 해석(Bailey et al., 1991; Inous et al., 1989) 결과와 잘 일치된다. DT1은 2524cm^{-1} 중심으로 넓은 흡수대를 나타내며, 이러한 결과는 표면에서 물 흡수가 일어난다는 것을 반영한다(Fig. 26). CT1 시료는 3569cm^{-1} , DT1 시료는, 3439cm^{-1} 의 흡수피크가 형성되어 있다(Fig. 25).

BT1 시료는 단파장에서 최대 64%의 높은 투과율을 나타내며, 투과율과 흡수율의 폭이 크다(Fig. 25). DT1 시료는 단파장에서 가장 높은 투과율

(최대 56%)을 나타내며, 그 밖에도 다양한 파장대에서 비교적 강한 흡수대를 형성한다. 특히 1439cm^{-1} 에서는 4% 이하의 강한 흡수현상이 관찰된다 (Fig. 26).

결과적으로 CT1 시료는 단파장에서 상대적으로 낮은 투과율(50%)을 나타내며, 흡수스펙트럼의 강도가 비교적 낮은 특징을 나타낸다(Fig. 24).

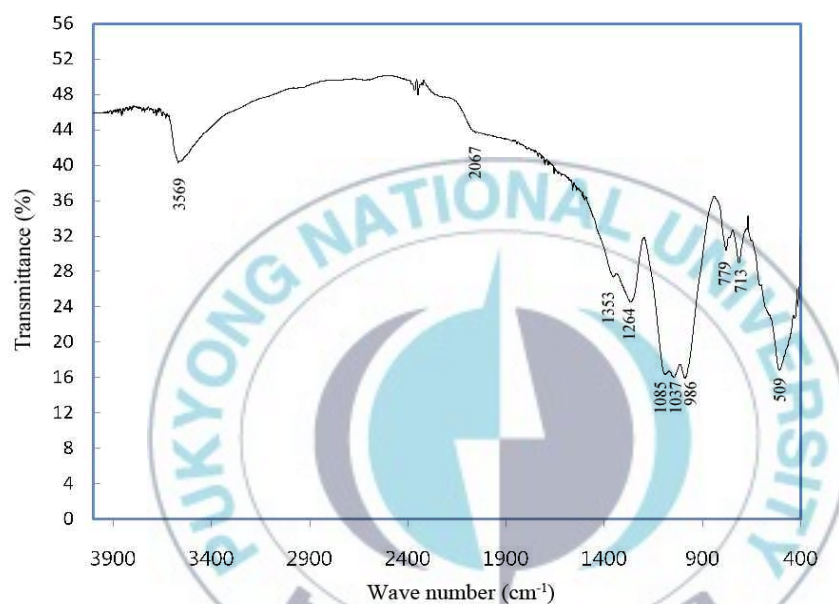


Figure 24. FT-Raman transmission spectra of the tourmaline(CT1).

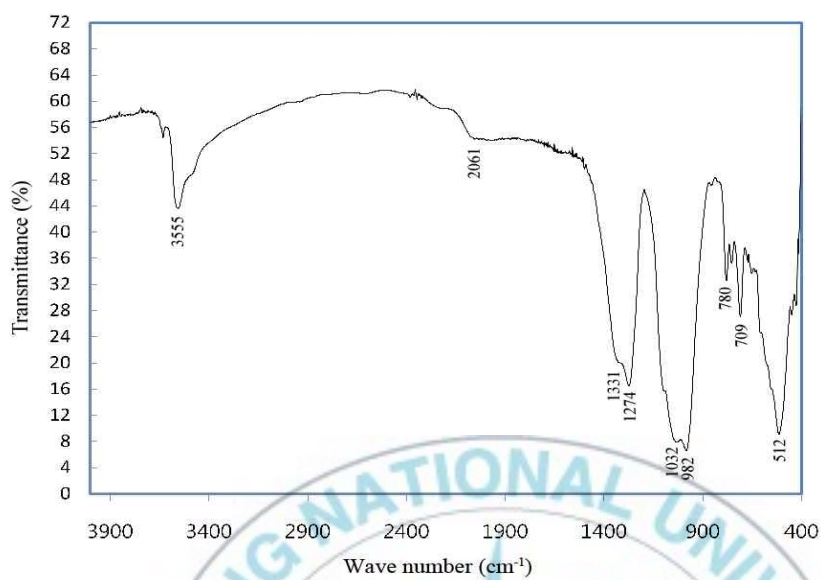


Figure 25. FT-Raman transmission spectra of the tourmaline(BT1).

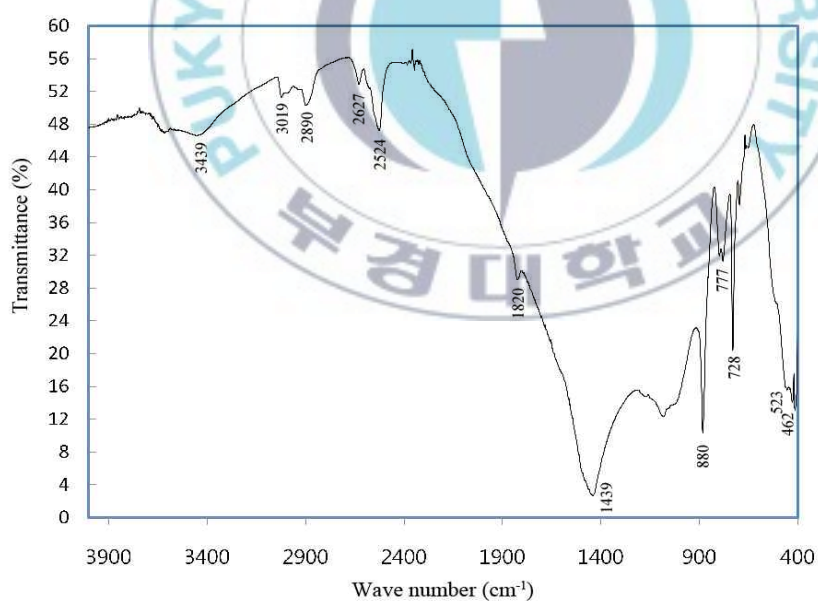


Figure 26. FT-Raman transmission spectra of the tourmaline(DT1).

5.5.2. 원적외선 방사 특성

분광에너지 곡선의 중심은 측정온도가 40℃에서 주파수가 큰 쪽, 즉 단파장으로 이동함을 볼 수 있다(Table 19). CT1, BT1 및 DT1 시료에서 방사 패턴이 흑체의 방사패턴과 유사하다. DT1 시료는 적외선 흡수스펙트럼이 $0.926\mu\text{m}$ 으로서 가장 높고, 그 다음으로는 $\text{CT1} = 0.925\mu\text{m}$, $\text{BT1} = 0.924\mu\text{m}$ 이다. 철 함량이 흑색 전기석의 방사량에 영향을 주는 것으로 나타나며, 산화철 함량이 증가에 따라 적외선 방사율이 낮아짐을 알 수 있다(Fig. 27).



Table 19. Infra-red emissivity of tourmaline, nephrite, serpentine and agate.

Sample no.	Emissivity(5-20 μ m)
Tourmaline	
CT1	0.925
BT1	0.924
DT1	0.926
Nephrite*	
CN	0.927
RN	0.927
KN	0.924
Serpentine*	
LS	0.924
NS	0.926
Agate*	
CA	0.922

* Yan Jie(2006)

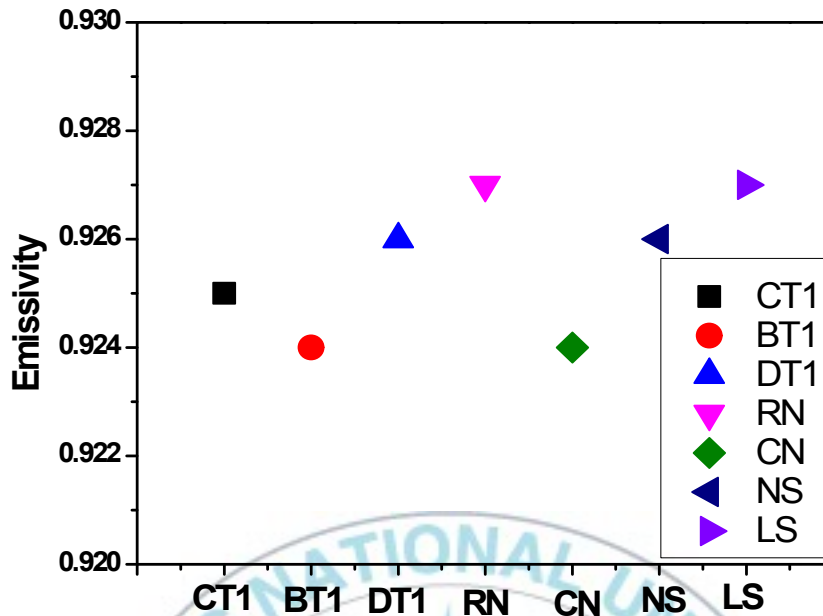


Figure 27. Infra-red emissivity of tourmaline, nephrite and serpentine.

전기석과 연옥 및 사문석옥의 원적외선 방사에너지는 5-20 μ m 범위에서는 뚜렷한 차이를 나타내지 않는다(Fig. 27).

5.6. 핵자기 공명 분석(NMR)의 결과

물은 단일성분으로 존재하는 것이 아니라 미약한 수산화기와 결합하여 형성되기 때문에 핵자기 공명분석을 통한 물 분자구조의 연구는 매우 중요한 의미를 지닌다. 물의 구조는 점도, 표면장력, 비등, 및 용융 온도를 변화시키는 요인으로 물의 성질 및 생체에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Schroeder et al., 1996). 각종 생물 화학반응 중에서 물 분자는 클

러스트 형태로 반응한다(정윤희, 2002). 물의 구조와 운동 형태는 세포의 물리화학적 성질과 생화학적 성분에 영향을 미친다. 물 분자를 개변(張志湘 외, 2003)하는 전기석은 물의 계면활성 특성에 영향을 주며, 물의 침투와 용해 능력을 높이는 것으로 보고되고 있다(Kubo, 1991).

핵자기 공명 분광법 연구는 물의 구조를 파악하는데 효과적인 방법이다. ^{17}O -NMR을 이용한 실험 결과에서 반치 폭이 높고 넓은 것은 액체 구조의 상대적인 크기를 반영한다. 스펙트럼선이 큰 클러스터(cluster)를 형성하는 것을 반영하며 스펙트럼 선이 좁으면 작은 클러스터를 나타낸다(李福志 외, 2004).

이 연구에서는 전기석의 물 클러스터의 구조에 대한 영향을 연구하기 위하여 주요 산지별 전기석과 대조군 광물로서 옥광물을 이용하였다. 실험 과정은 전기석 및 옥 분말을 증류수에 넣어서 일정한 시간이 경과한 후의 ^{17}O -NMR 측정으로 변화를 파악했다. 전기석(CT1, BT1, BT2 및 DT1)과 대조군 광물로서 러시아 연옥(RN), 중국 신강 연옥(CN), 북한 사문석 옥(NS) 요녕성 사문석 옥을 넣은 증류수를 대상으로 ^{17}O -NMR 실험한 결과는 Fig. 27, 28과 같다. 시료를 첨가하지 않은 증류수를 이용한 경우는 106Hz이며, 산지별 전기석을 첨가한 경우는 각각 53Hz (CT1), 52Hz (BT1), 51Hz (BT2) 및 55Hz (DT1)로 저하시켰고(Fig. 28), 옥광물을 첨가한 경우는 85Hz(CN), 82Hz(RN), 65Hz(NS), 60Hz(RN)로 파악되었다(Fig. 29). 이것은 전기석이 옥광물 보다 처리 후의 물체에 큰 변화를 보여 줄 수 있다. 동시에 전기석은 산지에 대한 영향이 크지 않다는 것을 알 수 있다(Table 20).

Table 20. ^{17}O -NMR spectra results of tourmaline, nephrite and serpentine reacted with distilled water.

Sample no.	Frequency(Hz)
Primary distilled water	106Hz
Tourmaline	
CT1	53
BT1	52
BT2	51
DT1	55
Nephrite*	
RN	82
CN	85
Serpentine*	
LS	60
NS	65

* Yan Jie(2006)

초기 106Hz를 갖는 증류수에 전기석, 옥광물을 3시간 반응 시킨 후 측정한 핵자기공명분석결과에 의하면 전기석이 가장 낮은 파장(51-55Hz)을 나타내며, 사문석옥(60-65Hz), 연옥(82-85Hz)순이 차이를 갖는다(Table 20).

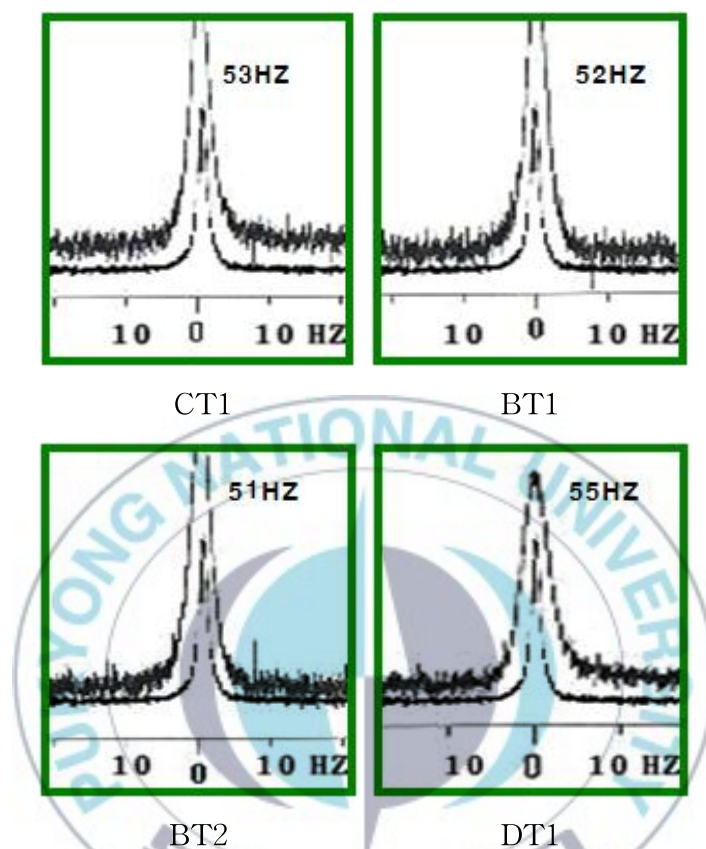


Figure 28. ^{17}O -NMR nuclear magnetic resonance(NMR) spectra for distilled water reacted with the different tourmalines(CT1, BT1, BT2 and DT1).

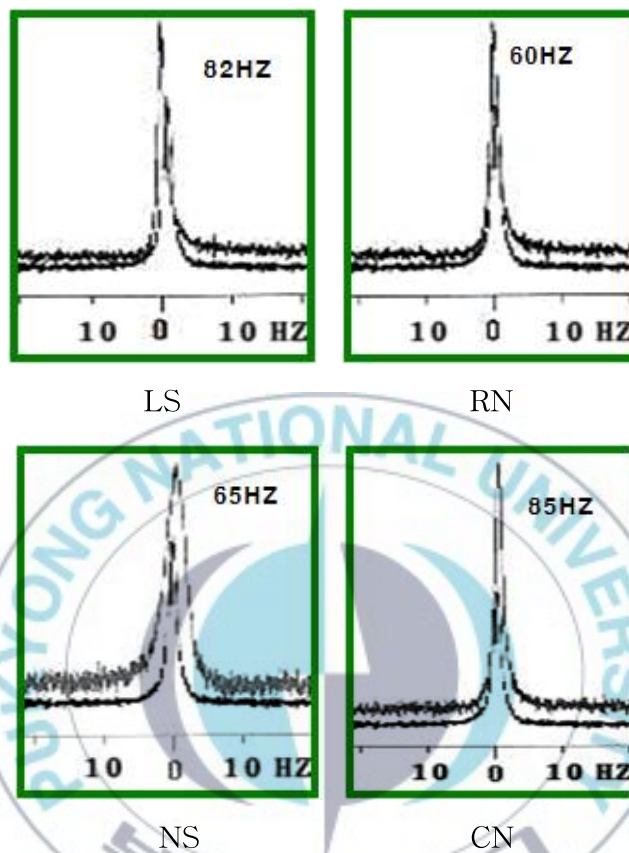


Figure 29. ^{17}O -NMR nuclear magnetic resonance(NMR) spectra for distilled water reacted with the different tourmalines(LS, RN, NS and CN).

Table 21. ^{17}O -NMR spectra results of CT1 tourmaline reacted with distilled water.

Sample no.	Added powder(g)	Frequency(Hz)
CT1	0.0	106
	0.5	85
	1.0	75
	1.5	66
	2.0	62
	2.5	60

한편 중국산 전기석(CT1)시료의 첨가량에 따른 파장의 변화는 초기 106Hz에서 첨가량이 증가(0.5-2.5g)할수록 그 값은 85-60Hz로 규칙적인 감소를 나타낸다(Fig. 30). 전기석의 첨가 함량에 따른 NMR 반치 폭의 추이를 확인하는 실험에서는 첨가량의 증가와 함께 반치 폭은 (-)의 상관관계를 나타낸다. 처음에 0.5g의 전기석을 첨가한 경우에 가장 급격하게 감소하는 양상을 나타내며, 시료의 첨가량이 증가할수록 대체적으로 그 변화가 둔감해지는 것을 알 수 있다(Table 21).

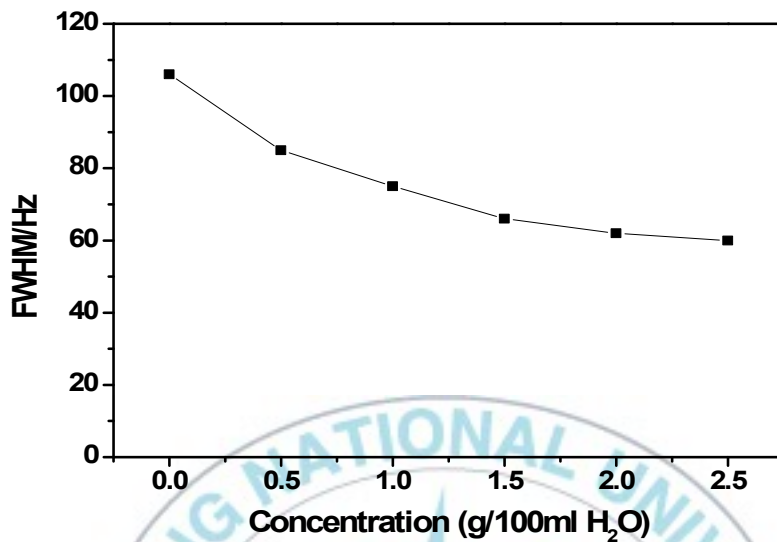


Figure 30. ^{17}O -NMR spectra result of the tourmaline(CT1) reacted with distilled water.

5.7. 음이온의 발생 특성

대기 중에 전하가 존재한다는 것이 18세기 중기 Franklin과 Ailbard에 의해 확인된 이후, 이온 발생기와 공기이온 검측 장비가 연구되어 왔다(韓躍新 외, 2004). 대기 중의 산소와 질소는 중성분자에 전자가 부딪치면 양이온이 형성된다. 이때 형성된 양이온이 빠른 속도로 다시 중성분자를 타격하여 더 많은 양이온이 수증기를 흡수하여 음이온이 만들어진다. 일반적으로 공기 중의 음이온은 양이온보다 그 크기가 작고 운동속도가 비교적 빠르기 때문에 양이온과 부딪쳐서 복합체를 형성한다. 산소와 결합된 양이온은 공기 중에 언제나 쌍으로 형성되며 둘은 유사한 특성을 갖는다(黃鳳

萍 외, 2006).

공기 중 이온의 농도는 생물의 성장 뿐만 아니라 인간의 생활환경에 중요한 영향을 미친다. 또한 물리학과 생물학 분야에서 대기 중의 이온 농도를 비롯하여 양이온 및 음이온 비율의 변화가 동물과 식물의 성장에 일정한 영향을 주는 것으로 알려져 있다(鄭水林 외, 2004). 최근 공기 중의 이온이 생물체에 미치는 영향에 대한 연구가 늘어나고 있다(杜亞利 외, 2006). 동물과 식물 뿐만 아니라 사람들 역시 공기 중의 이온과 반응하며 영향을 받으며, 양이온이나 음이온 모두 신체의 표면에서 서식하는 세균과 곰팡이 균의 성장을 억제하며 공기 중에 있는 세균의 수량을 감소시키는 것으로 알려져 있다(袁昌來 외, 2007).

이온 크로마토그래피(Ion chromatography)는 물속에 있는 여러 이온을 동시에 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점 때문에 다양한 시료에서 널리 사용되고 있다. 표준시료를 먼저 측정하고, 같은 양의 표준시료와 과량의 염이 포함된 용액을 측정하여 크로마토그램의 피크 면적을 비교하였다. 음이온들의 분석결과는 같은 농도의 표준 시료를 측정한 값과 피크 면적으로 비교하여 나타내었다.

실험 결과, 5일 후 전기석 분말와의 반응에 의해 F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^{2-} 가 생성되었고, 입자와의 반응에서는 F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^{2-} , HPO_4^- , SO_4^{2-} 가 상대적으로 생성량이 증가되었다(Table. 22). 이러한 결과로 볼 때 결정입자의 경우가 여러 분말시료에서 보다 여러 가지 음이온이 더 많이 생성됨이 확인되었다.

산지별로 볼 때 전기석과 대조군 옥광물 분말에서는 F^- 는 DT1 시료에서 0.04ppm으로 가장 높으며, BT1(0.03ppm) BT2(0.02ppm), CT1 (0.01ppm)이고 옥광물은 KN, RN, CN 및 NS는 0.01ppm이다. Cl^- 는 NS 2.81ppm으로 가장 높으며 DT1(0.66ppm), RN(0.40ppm), BT1(0.38ppm), KN(0.32ppm),

BT2(0.28ppm), CT1(0.27ppm), CN(0.17ppm) 순이다. SO_4^{2-} 는 NS 1.01ppm으로 가장 높으며 BT1(0.35ppm), CT1, BT2 및 DT1은 (0.22ppm)으로서 같은 수치로 나타났다(Table 19). 입자에서는 F^- 는 CA 1.82ppm으로 가장 높으며, DT1(0.43ppm), CT1(0.36ppm), BT1(0.22ppm), BT2(0.08ppm) 순이다. Cl^- 은 DT1 2.77ppm으로 가장 높으며, BT2(2.28ppm), CT1(1.54ppm), BT1(1.35ppm), CA(0.71ppm) 순이다. NO_3^{2-} 는 BT2 2.66ppm으로 가장 많고 DT1(0.56ppm), CT1(0.5ppm) 및 BT1(0.5ppm), CA(0.28ppm)순이다. SO_4^{2-} 는 CT1 13.76ppm으로 가장 높으며, BT2(4.67ppm), BT1(2.24ppm), DT1 (1.96ppm), CA(0.99ppm) 순이다(Table 23).

산지별 시료의 음이온 분석결과는 전반적으로 F^- , Cl^- , SO_4^{2-} 및 NO_3^{2-} 가 형성되었으며, HPO_4^- , NO_3^{2-} 및 NO_2^- 는 미량이거나 검출되지 않았다 (Table 22 and 23). 한편 전기석 입자와 전기석 분말을 대상의 실험 분석 결과에서는 모든 시료에서 입자 시료가 분말 시료에 비해 높은 함량을 나타내었다(Table. 23).

Table 22. Anion concentration(ppm) react with tourmaline, nephrite and serpentine powder.

No.	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	NO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	HPO ₄ ⁻
Tourmaline							
CT1	0.01	0.27	0.22	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BT1	0.03	0.38	0.35	n.d.	0.32	n.d.	n.d.
BT2	0.02	0.28	0.22	n.d.	0.66	n.d.	n.d.
DT1	0.04	0.66	0.22	n.d.	0.13	n.d.	n.d.
Nephrite*							
KN	0.01	0.32	n. d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
RN	0.01	0.40	n. d.	n.d.	0.35	n.d.	n.d.
CN	0.01	0.17	n. d.	n.d.	0.09	n.d.	n.d.
Serpentine*							
NS	0.01	2.81	1.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. : not detected. * Yan jie(2006)

전기석, 연옥 및 사문석옥의 분말시료인 경우는 북한산 사문석옥을 제외하고는 대체적으로 낮은 음이온 함량을 나타낸다. 북한 사문석옥은 Cl⁻=2.81, SO₄²⁻=1.01에서 매우 높음을 갖는다(Fig. 30, 31).

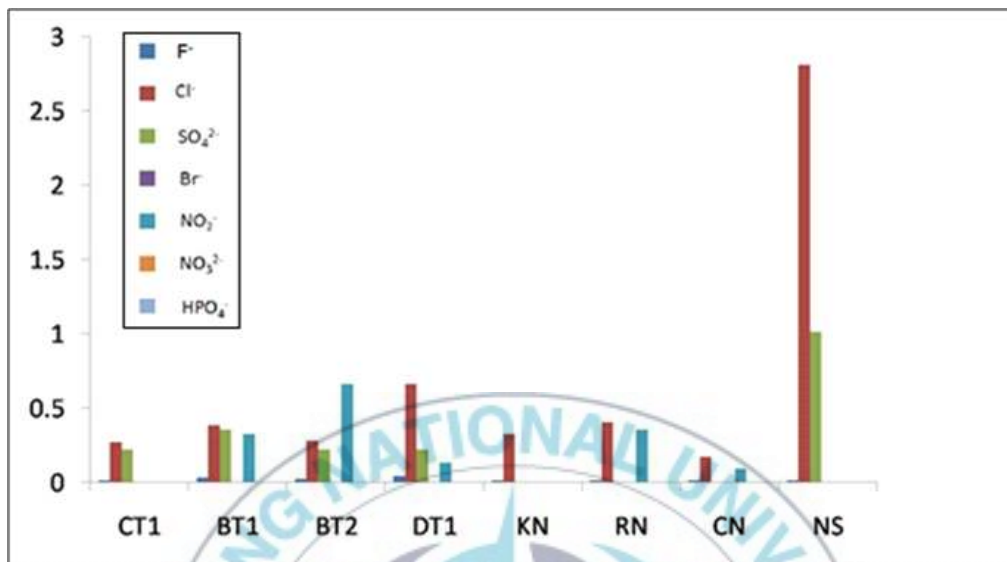


Figure 31. Histogram for the anion concentration(ppm) reacted with tourmaline, nephrite, and serpentine powders.

Table 23. Anion concentration(ppm) react with tourmaline and agate grains.

No.	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ²⁻	HPO ₄ ⁻
Tourmaline							
CT1	0.36	1.54	13.76	n.d.	n.d.	0.5	0.09
BT1	0.22	1.35	2.24	n.d.	n.d.	0.5	n.d.
BT2	0.08	2.28	4.67	0.33	n.d.	2.66	n.d.
DT1	0.43	2.77	1.96	n.d.	n.d.	0.56	n.d.
Agate*							
CA	1.82	0.71	0.99	n.d.	n.d.	0.28	n.d.

n.d. : not detected. * Yan Jie(2006)

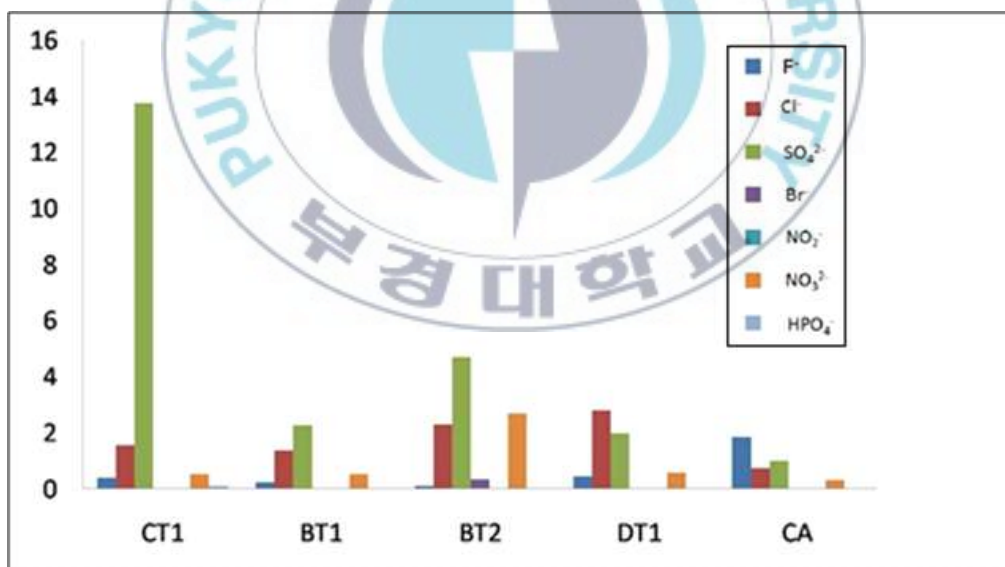


Figure 32. Histogram for the anion concentration(ppm) reacted with tourmaline and agate grains.

5.8. 건강증진 용도를 위한 임상적 결과

5.8.1. 체온, 혈압 및 맥박에 미치는 영향

광물을 이용한 동중요법은 동물을 대상으로 한 실험을 통해 교감신경 및 부교감 신경의 활동이 조절되는 것으로 알려져 있다(Ju & Kubo, 1997). 또한 이 요법은 수분과 단백질로 구성된 인체의 자기 온열효과 및 발한 효과를 통하여 미세혈관의 확장과 혈액 순환촉진을 비롯한 신진대사 촉진과 유해금속을 체외로 배출하는 작용을 하는 것으로 보고되었다(Ji, 2001). 또한 인체의 자율신경계의 균형을 촉진하여 심박출량 및 심박동수의 감소효과로 인체가 변화하는 환경에 대해 체내의 항상성 유지를 위해 적극적으로 안정화 되도록 기여한다고 알려져 있다(劉强 외, 2004; 張志湘 외, 2003).

이 연구에서는 전기석 및 옥광물 온열지속반응이 인체에 미치는 생리적 변화를 분석하였다. 연구대상은 성인 남자와 여자 50명을 대상으로 전기석 및 옥광물 온열 방에서 실시하였다. 전기석 및 옥광물 온열방 내부온도는 약 80℃인 일반 온열방 시설을 이용하였다. 피 실험자에 대한 초기 생리학적 상태의 측정은 일반 매트 위에 30분간 편안히 누운 상태에서 안정시킨 후, 일정한 실내온도(23-25℃)에서 체온, 혈압 및 맥박을 측정하였다. 전기석 및 옥광물 온열은 초기 안정 후, 휴식과 온열을 반복해서 30분간씩 2회에 걸쳐 측정하고, 다시 일정한 실내온도(23-25℃)에서 30분간 휴식을 취한 상태에서 상기 항목들을 재측정했다.

Table 24. The clinical results from tourmaline sauna study.

Group		Number	Initial	After sauna (30min)	Stable condition (30min)
A	Blood pressure	15	90-140	90-135 (55%)	90-135 (54%)
	Pulse		80	90 (51%)	90 (58%)
	Body Temp.(°C)		37	38.5(52%)	37.5 (52%)
B	Blood pressure	20	80-120	85-120 (90%)	85-120(86%)
	Pulse		70	82 (90%)	82 (80%)
	Body Temp.(°C)		36.5	37.5 (82%)	37.5(82%)
C	Blood pressure	15	50-80	50-80 (56%)	50-80 (53%)
	Pulse		68	75 (53%)	75 (51%)
	Body Temp.(°C)		36	36.5 (58%)	36.5 (52%)

측정 결과, 전기석 고온온열 지속 반응의 경우, 온열직후 체온이 1.5°C 상승하였고 30분 경과한 휴식상태에서는 초기와 같은 것으로 나타났다. 전기석 고온온열 직후 수축기 혈압과 이완기 혈압은 각각 온열 직전보다 10.0mmHg 상승하였다(Fig. 33, 34 및 35). 맥박은 전기석 고온온열에서는 분당 최고 12회 상승하였다(Table 24).

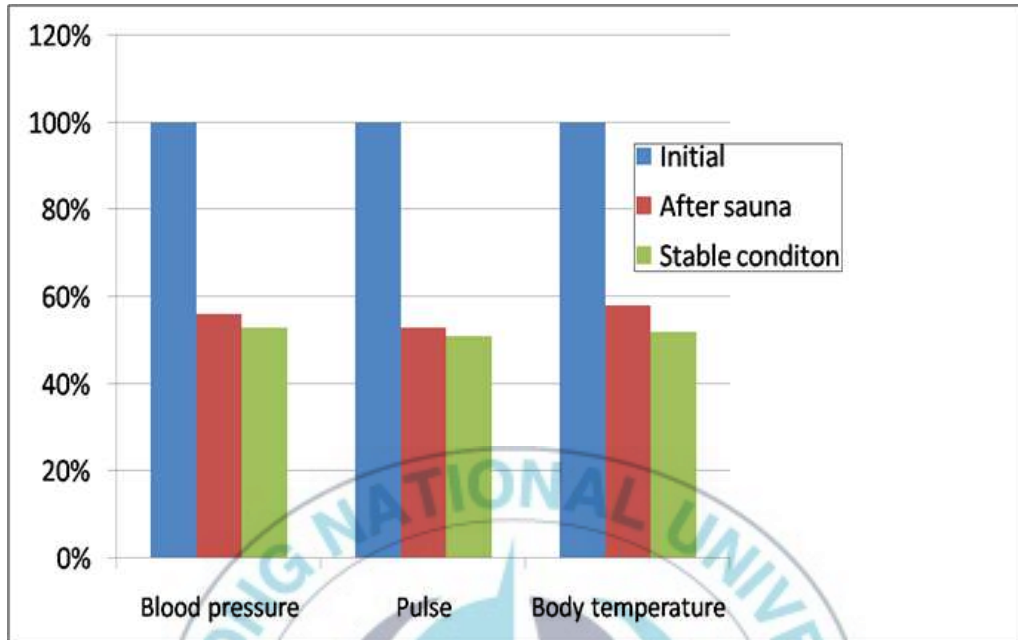


Figure 33. The clinical results group A from the tourmaline sauna study.

초기에는 높으나 30분 경과와 안정 후에는 일정한 혈압, 맥박, 체온을 나타낸다(Fig. 34).

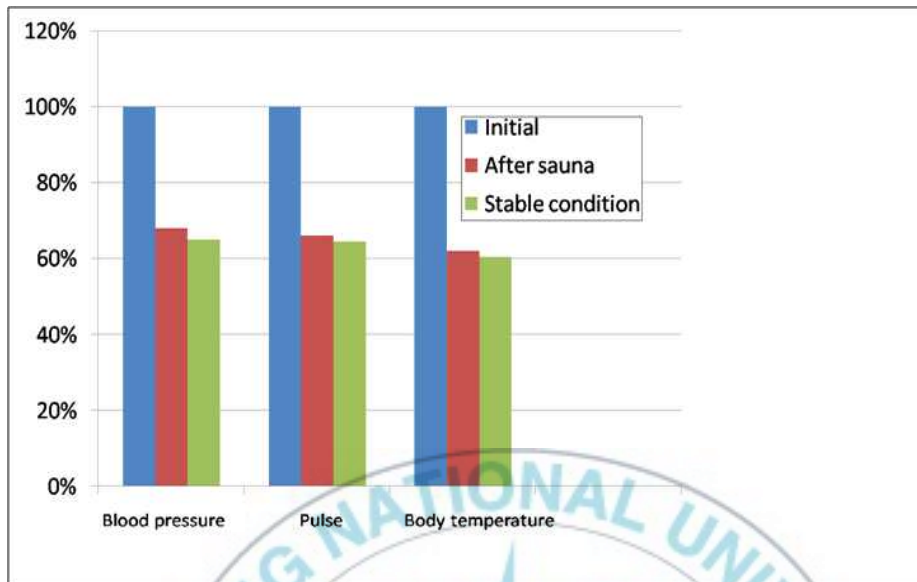


Figure 34. The clinical results group B from the tourmaline sauna study.

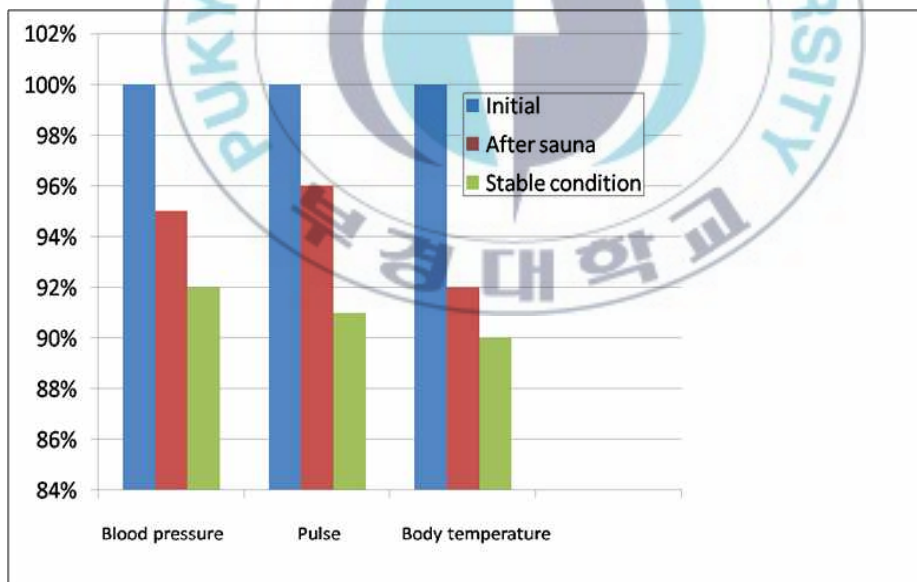


Figure 35. The clinical results group C from the tourmaline sauna study.

Table 25. The clinical results from serpentine sauna study.

Group	Jade	Number	Initial	After sauna (30 min)	Stable condition (30min)
A	Blood presure	20	95-135	90-130(65%)	90-130(64%)
	Pulse		85	95(63%)	95(60%)
	Body temp.(°C)		37.0	37.5(64%)	37.5(63%)
B	Blood presure	25	80-120	85-120(95%)	85-120(92%)
	Pulse		75	92(96%)	92(91)
	Body temp.(°C)		37.0	37.5(92%)	37.5(90%)
C	Blood presure	18	60-90	70-100(68%)	70-120(65%)
	Pulse		70	90(66%)	90(64.5%)
	Body temp.(°C)		36.5	37.0(62%)	37.0(60.5%)

옥광물 온열에서는 체온이 1.5℃ 상승하였고 30분이 경과한 휴식상태에서 초기보다 0.5℃ 높은 것으로 나타나 온열효과의 지속성이 유지되는 것으로 나타났다. 그러나 옥 광물 온열직후 수축기 혈압과 이완기 혈압은 각각 온열 직전보다 7.0mmHg 상승하였다(Fig. 36, 37 및 38). 맥박은 옥 광물 온열직전보다 평균 20회 상승하였다(Table 25).

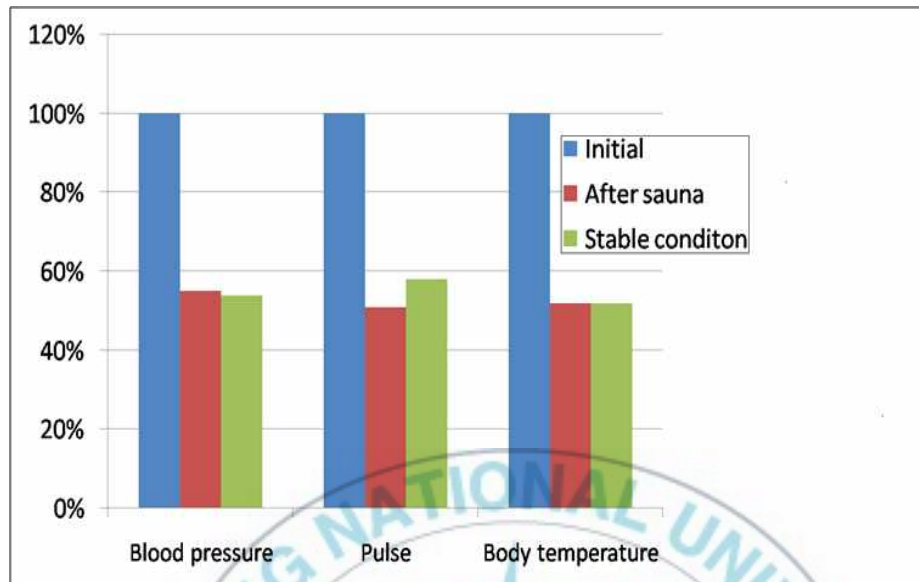


Figure 36. The clinical results group A from the serpentine sauna study.

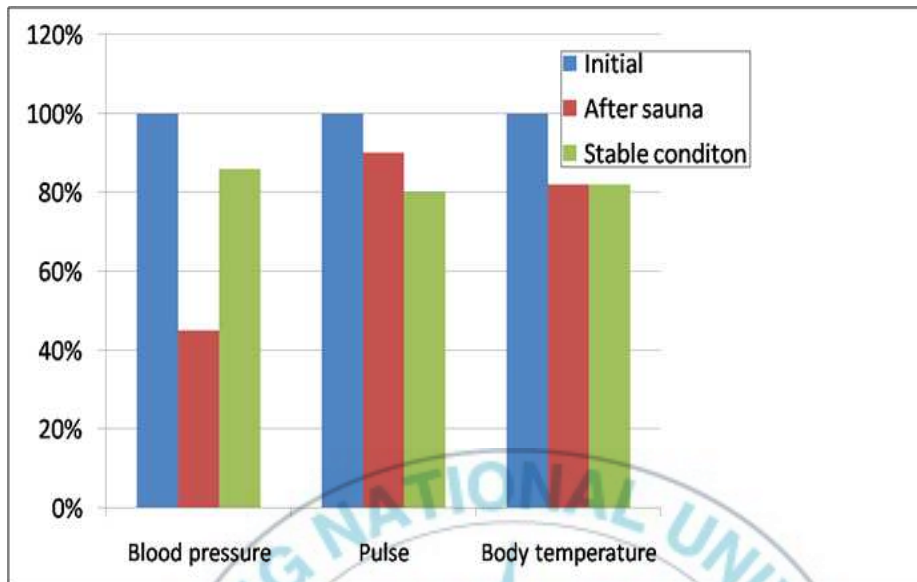


Figure 37. The clinical results group B from the serpentine sauna study.

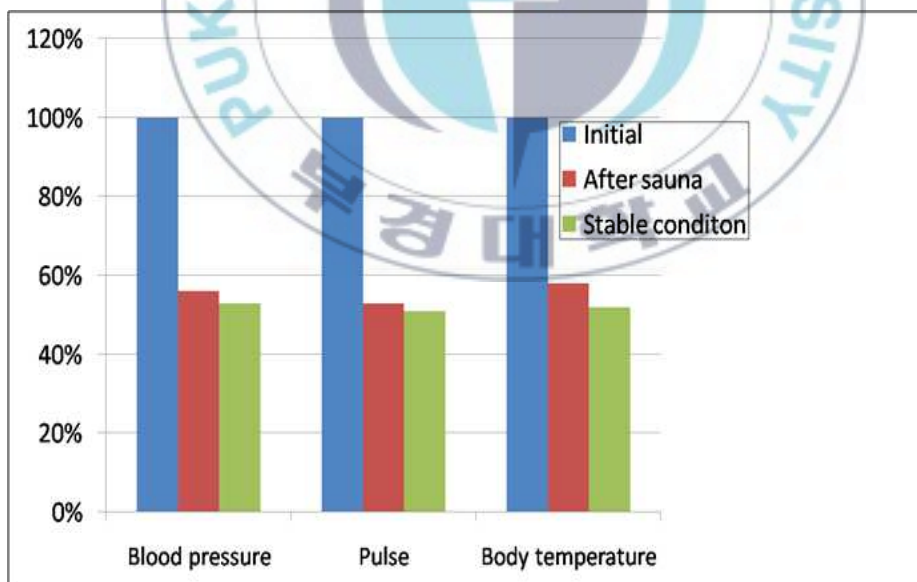


Figure 38. The clinical results group C from the serpentine sauna study.

전기석 온열 지속반응 직후 체온이 1.5℃ 상승하였고 30분 경과한 휴식 상태에서는 초기의 체온과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Fig. 33). 그러나 옥광물 온열의 경우 휴식상태에서의 체온이 초기보다 0.5℃ 높은 것으로 나타나 온열 효과 지속성이 양호 한 것으로 나타났다(Fig. 36).

전기석 고온 온열 지속 반응 직후 수축기 혈압과 이완기 혈압은 각각 온열 지속반응 직전보다 10.0mmHg 상승하였고(Fig. 34), 옥광물 온열 지속반응의 경우 수축기 혈압과 이완기 혈압은 각각 7.3mmHg 상승하였다(Fig. 37).

맥박은 전기석 온열 지속 반응 직후 분당 12회 상승하였고(Fig. 35), 옥광물 온열지속 반응 직후 20회 상승하였다(Fig. 38).

5.8.2 전기석 비누의 피부 영향 측정 결과

전기석은 극성을 띄는 독특한 성질 때문에 물 분자와 반응하여 물을 H^+ 와 OH^- 이온으로 분해시키고 이들은 다시 외부로 증발되며, 물속에 잔류된 전기석은 물과의 지속적인 반응으로 항균, 살균 및 세균증식을 억제시키는 작용을 한다. 또한 물 분자(cluster)를 세분화하여 세포의 기능을 활성화 시키는 것으로 알려져 있다(Ji, Z. J. et al., 2002).

전기석이 함유된 비누의 계면활성 물질이 여성들 피부에 미치는 효과를 검토하기 위하여 전기석 비누를 제작하여 피부의 개선여부, 특히 두드러기, 아토피 등으로 피부가 거칠거나 동상 등의 후유증으로 얼굴이 쉽게 붉어지는 사람을 대상으로 한 비누사용의 효과에 따르는 피부에 미치는 영향 평가가 수행되었다. 전기석 비누를 6개월(최대 2년)동안 사용한 결과, 초기

피부가 양호한 그룹(A 그룹)이 보통이상의 효과를 얻은 경우가 84% 이상이며, 효과를 느끼지 못한 경우는 16% 이하이다(Table 26). 알레르기 및 아토피 등 피부에 문제가 있는 그룹(B 그룹)의 경우는 보통 이상의 효과를 얻은 경우가 53% 이상이었으며, 효과를 느끼지 못한 경우는 22% 이하이다. 보통의 피부 대상자(C 그룹) 모두가 효과를 얻은 경우가 아주 좋음이 74.5% 이상이며 좋음이 25.5% 이상이다. 보통 피부의 대상자(C 그룹)가 가장 좋은 효과를 얻고 있음을 알 수 있었고, 다음으로 피부가 좋은 사람 순이다. 한편 피부에 문제가 있는 그룹(B 그룹)은 그 효과가 상대적으로 낮음을 확인하였다(Table 26). 그러나 좋은 피부나 보통의 피부에서보다 문제 그룹(B 그룹)에서의 상대적 효과는 더욱 크다고 볼 수 있다(Fig. 39).

Table 26. After application of the tourmaline soap for 6 months.

Group	Skin condition	Number of individuals	Slightly effective	Moderately effective	Highly effective
A	Good skin	20	62%	22%	16%
B	Trouble skin	20	53%	25%	22%
C	Normal skin	10	74.5%	25.5%	0%

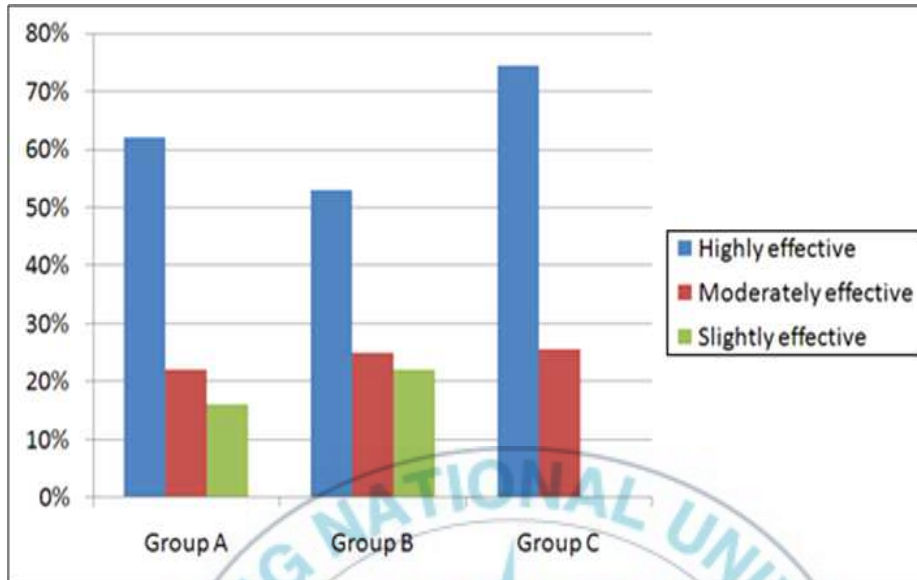


Figure 39. Effectivity after application of the tourmaline soap for 6 months.

제 6 장 토의

6.1. 화학조성과 결정학적 특성

전기석은 산지에 따른 지질환경 및 산출특성에 따라 원자구조가 변하며, 물리적 및 화학적 성질을 비롯하여 결정상수 및 전기적 성질이 달라진다(鄒仕庭, 1988). 그러므로 이 연구에서는 주요산지와 유형을 달리하는 시료를 각각 중국산(CT), 브라질산(BT1), (BT2), 한국산(DT) 전기석의 단결정 및 괴상의 집합체를 선택하여 실험에 이용하였다. 또한 건강증진 용도의 방사 및 분광에너지 대비와 인체반응 특성비교를 통한 임상학적 실험을 위하여 대조군 옥광물로서 한국산(KN), 중국산(CN, LS, CA), 러시아(RN), 북한산(NS)의 분석결과를 비교하여 토의하였다.

XRD 분석결과(Fig. 8, 9), Fe-Mg 전기석은 Fe함량의 높은 전기석에 비해 결정격자변화가 일어나지 않는다. 이것은 Fe^{2+} 함량이 높고 또한 Mg^{2+} 유질동상의 특성을 지니기 때문에 격자 간격이 일정한 이유로 판단된다. 그러나 Fe 함량이 상대적으로 낮은 (BT2)는 배제하기 어렵다. XRD 분석결과에서 볼 때 Fe-Mg 계열 전기석은 결정격자 팽창 규칙성이 강하지 않음을 알 수 있다. 그러나 Fe^{2+} 함량이 높고 Mg^{2+} 함량이 낮은 (CT1, BT1, DT1)와 상반되는 시료(BT2)는 결정격자의 변화가 크고 강한 규칙성을 나타냈다. 즉 C축이 팽창되고 단위포 체적이 커진다. 전기석의 C축 방향 격자상수 변화는 다른 광물의 결정체와 구별되는 성질로서 작은 정도, 비교적 큰 팽창계수, 비교적 큰 전도율 등에 영향을 주는 요인이다(Dietrich, 1985; 楊如增 외, 2007).

전기석의 자발적으로 전기를 일으키는 요인은 C축의 양극에 전기마당이 존재하기 때문이며, 전압은 전기마당의 중심에서 멀어지면 약해진다

(Bailey, 1991; 展杰 외, 2006). 전기석의 표면에 수십 마이크론 범위 전압은 가장 강하다. 전기석은 지속적으로 전기를 생성하기 때문에 물의 pH를 초기에는 증가시키고 최종적으로는 pH=8근처에서 안정화되는 결과를 나타내었다. 이러한 현상은 용액의 pH가 광물표면 수산기와 전기석의 전극반응의 영향을 중화되기 때문인 것으로 생각된다. 전기석 입자가 이온수 pH와 전도율을 변화시키는 효과가 뚜렷하다. 전기석 입자는 첨가되어 24시간 경과 후에는 수돗물을 약 알칼리성으로 도달하게 하였으며, 이러한 결과는 수돗물의 전도율이 제고되었고 수돗물의 흡착력이 증가되었다는 것을 의미한다. 그 결과 전기석의 큰 교질입자는 여러개의 작은 교질입자로 분해하며 물을 새롭게 활성화되어 물의 침투, 용해, 대사 및 쪼개어 생리효능을 높일수 있는 것이다. 한편 DO값의 변화를 볼 때 전기석을 이용한 수돗물 처리는 산화환원 전위(OPR)이 140-200mV 조건에서 수질개선 효과가 가장 높은 것으로 생각된다(Fig. 18).

6.2. 화학조성과 분광학적 특성과의 상관성

전기석을 구성하는 각종 금속 산화물의 함량은 결정체 중에서 Fe^{2+} 과 Fe^{3+} 우선 Y위치가 다 채워진 후 Z위치에 위치하는 연구결과(楊如增 외, 2007; 鄒中云 외, 2006)와 대비할 때 철이 존재하는 위치와 연관됨을 짐작할 수 있다.

붕소 함량과 원적외선 방사량과의 연관성은 없는 것으로 나타났다(Fig 40). 그러나 CT1 시료의 높은 원적외선 방사량의 요인은 화학조성의 차이와 상관성을 짐작할 수 있으나 보다 정밀한 검토가 필요하다. Si 함량은 정(+)의 상관관계를 나타내지만 Mg, Al, Fe함량은 뚜렷한 규칙성을 나타

내지 않았다(Fig 40). 음이온 함량과 원적외선 방사량과의 상관성은 입자시료(grain)인 경우에는 F^- , Cl^- , NO_3^{2-} 성분에서는 비교적 높은 정(+)의 상관 관계를 나타내지만(Fig. 42) 전기석(powder)시료를 대상으로 한 실험에서는 뚜렷한 규칙성을 나타내지 않는것(Fig. 41)은 전기석 입자 및 분말과 물의 반응에서 교질물질 및 광물집합체가 갖는 물리적 특성과 연관됨을 유추하게 한다.



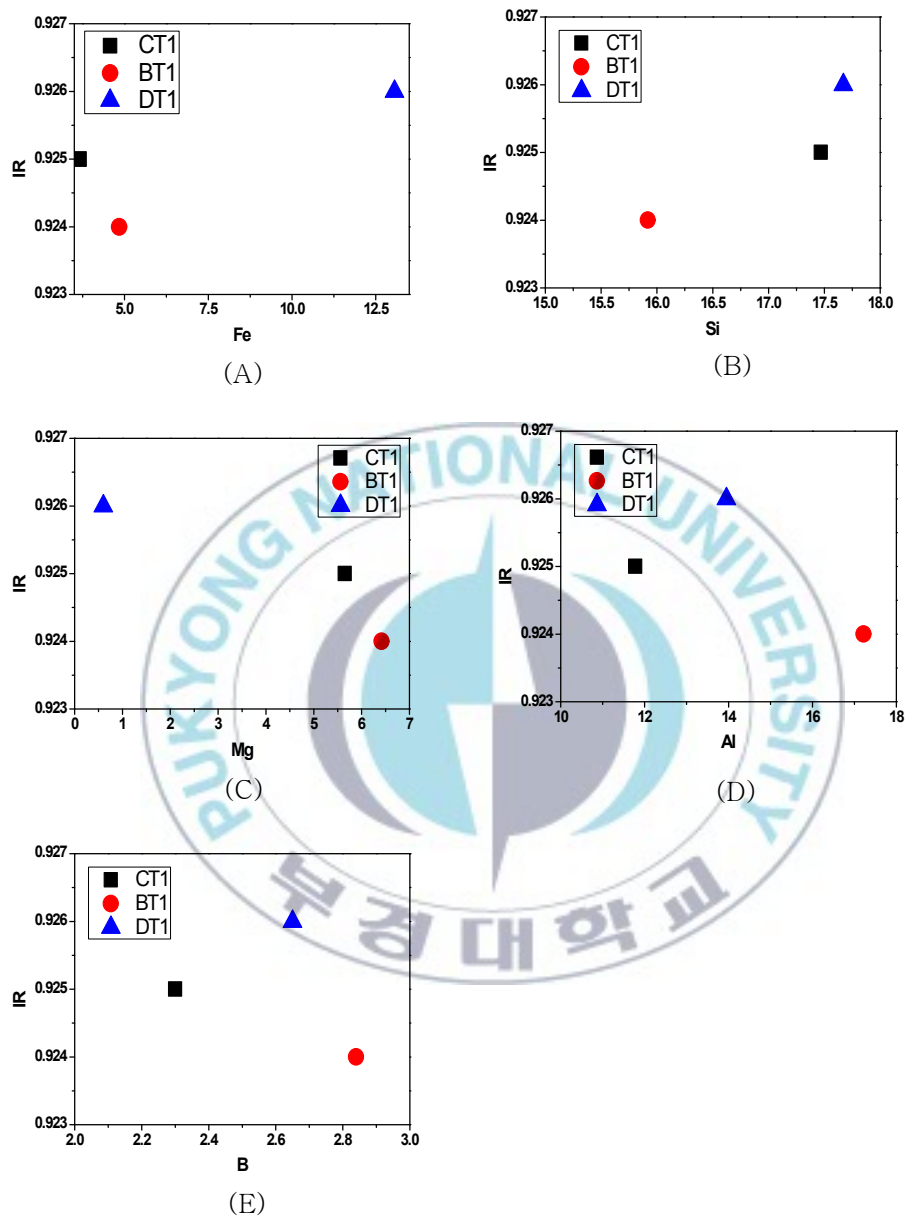


Figure 40. Relation between Fe, Al, Mg, Si and B contents, and IR intensities of the studied the tourmaline powders.

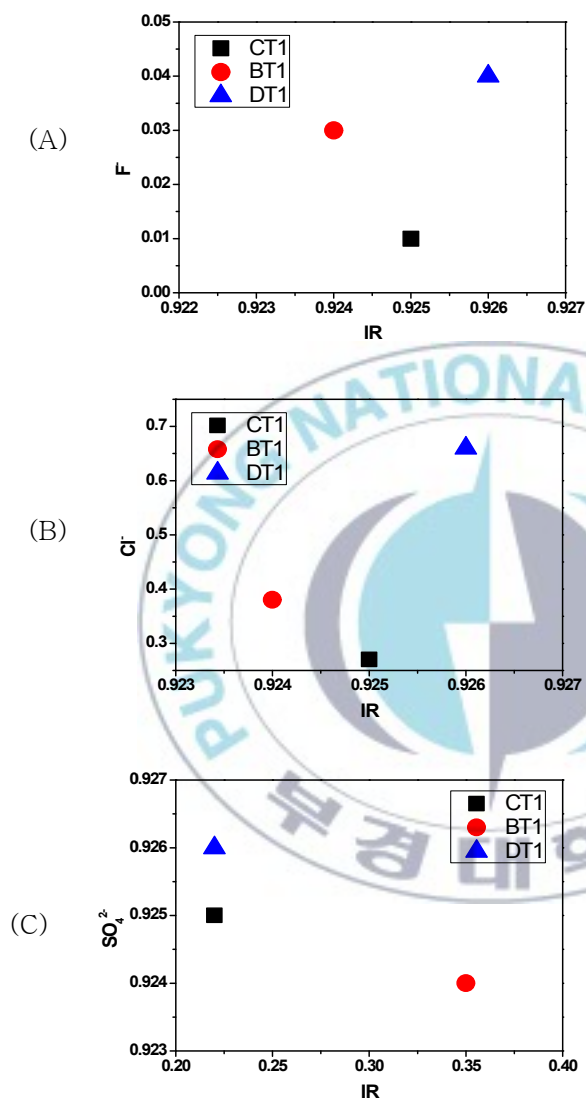
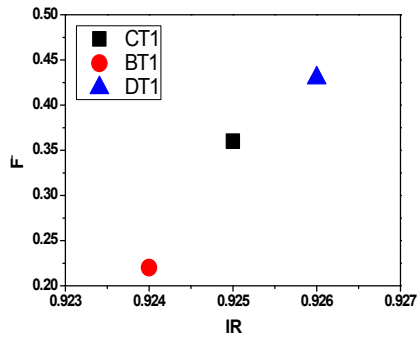
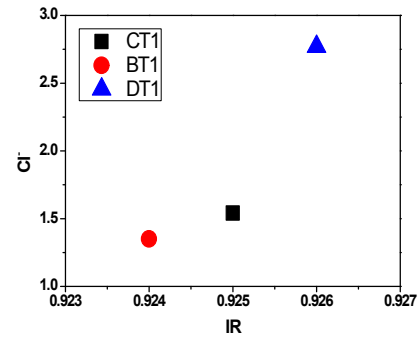


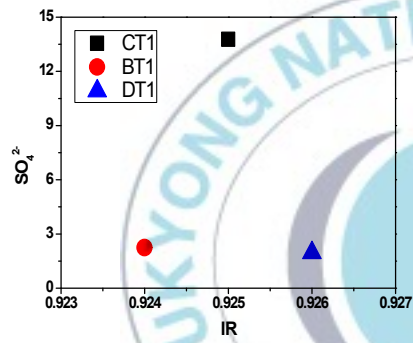
Figure 41. Relation between F⁻, Cl⁻ and SO₄²⁻ contents, and IR intensities of the studied the tourmaline powders.



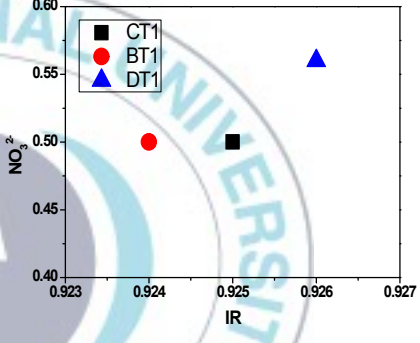
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure 42. Relation between F^- , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^{2-} contents, and IR intensities of the studied the tourmaline grains.

6.3. 결정학적 특성과 분광학적 에너지와의 상관성

단위포 상수는 결정체의 화학조성을 반영하며, 단위포 크기를 통하여 흑색 전기석, 마그네슘 전기석, 리튬 전기석 계열로 구별한다. 분광학적 특성뿐 만아니라 광물 결정이 갖는 고유의 자장에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Brindley et al., 1980; Okada et al., 1992; Prasada et al., 2005). 전기석의 각 축이 갖는 격자상수는 광물의 전자파 중에서 라디오파는 분자와의 상호작용으로 분자의 구조 뿐만아니라 집합특성에 대한 많은 정보를 제공한다. 한편 자장 중에서 분자의 거동을 나타내는 것이 핵자기 공명법(nuclear magnetic resonance, NMR)으로 해석에 이용되어 최근 이 방법은 보통 유기분자의 구조결정 해석에 이용되어 왔으나 최근 컴퓨터의 발전에 의하여 단백질이나 다당류의 구조, 화합물 연구에 적용되고 있다.

최근에 물분자 구조와 집합특성에 따른 물의 효능연구를 통하여 물은 간단한 단분자 형식으로 존재하는 것이 아니라 미약한 수산기와 결합하여 큰 물분자군을 형성하여 물의 물리·화학적 성질을 규정하는 요인이 된다. 일반적으로 물분자군의 형성은 물분자 활성을 낮추기 때문에 생물학적 관점에서 물의 특성과 생물학적 효능에 대한 연구가 관심이 대상이 되고 있다.

전기석 물분자구조군의 영향을 연구하기 위하여 본 실험에서는 같은량의 산지별 전기석을 증류수에 넣고 핵자기공명(NMR) 에너지의 반치폭 변화를 측정하였다. ^{17}O -NMR분석의 반치폭이 높고 넓은것은 액체 군집체구조의 상대적인 평균 크기를 반영한다. 즉 ^{17}O -NMR 분석에 의한 종이완과 황이완에서 볼 때 분자운동이 활발하면 종이완이 길어지고, 분자운동이 느리면 종이완이 짧아진다. 이는 분자운동이 활발할수록 종이완이 길어지고 선평이 좁아지는 것을 의미한다. 증류수에 각각의 전기석을 넣은후 변화된

^{17}O -NMR 반치폭의 변화를 확인한 결과, 미처리시의 값인 106Hz보다 낮은 53Hz(CT1), 52Hz(BT1), 51Hz(BT2)와 55Hz(DT1)로 나타났으며, 옥광물을 첨가한 경우는 85Hz(CN), 82Hz(RN), 65Hz(NS), 60Hz(LN)로 나타났다. 이것은 옥광물 보다 전기석 처리후에 물 분자군의 구조변화가 더 많이 발생하였으며, 물분자군의 결합크기가 적어지는 것을 의미한다. 그러나 산지별 전기석에 의한 효능에 변화가 크지 않다는 것을 알 수 있다(Fig. 28, 29).

결정학적으로 A축의 결정상수가 커짐에 따라 원적외선 방사량이 증가됨을 알 수 있다(Fig. 43). A축의 결정상수는 전기석을 구성하는 Y-사이트와 Z-사이트에 접하는 전이 금속원소의 종류와 함량에 의해 지배되므로 이에 대한 보다 정밀한 연구가 요구된다. 한편 C축의 결정상수는 그 값이 증가됨에 따라 대체적으로 원적외선 방사량이 증가되는 경향을 나타낸다(Fig. 43). C축의 결정상수는 전기석의 전기장과 그 세기에 영향을 주는 요인으로 전기석의 전류의 세기와 원적외선 방사량에 대한 추가적인 검토가 필요함을 알 수 있다.

결정상수와 ^{17}O -NMR 반치폭과의 관계는 A와 C축 모두에게 동일한 패턴을 나타내지만, 결정상수에 따른 ^{17}O -NMR 반치폭은 규칙성을 갖지 않는 것은 반치폭의 변화요인의 결정상수 이외의 요소가 작용함을 시사 하는 것으로 생각된다. ^{17}O -NMR반치폭은 전기석에서 BT2시료가 가장 좁은 반치폭을 나타내며, BT1, CT1, DT1순으로 그 값이 낮아지고, 옥광물에서 LS시료가 가장 좁은 반치폭을 나타내며, NS, RN 및 CN순으로 낮아지는 결과를 보여준다(Fig. 44). 이러한 결과는 전기석을 이용한 물의 군집형성에 결정학적 특성에 대한 이해가 매우 중요함을 반영한다.

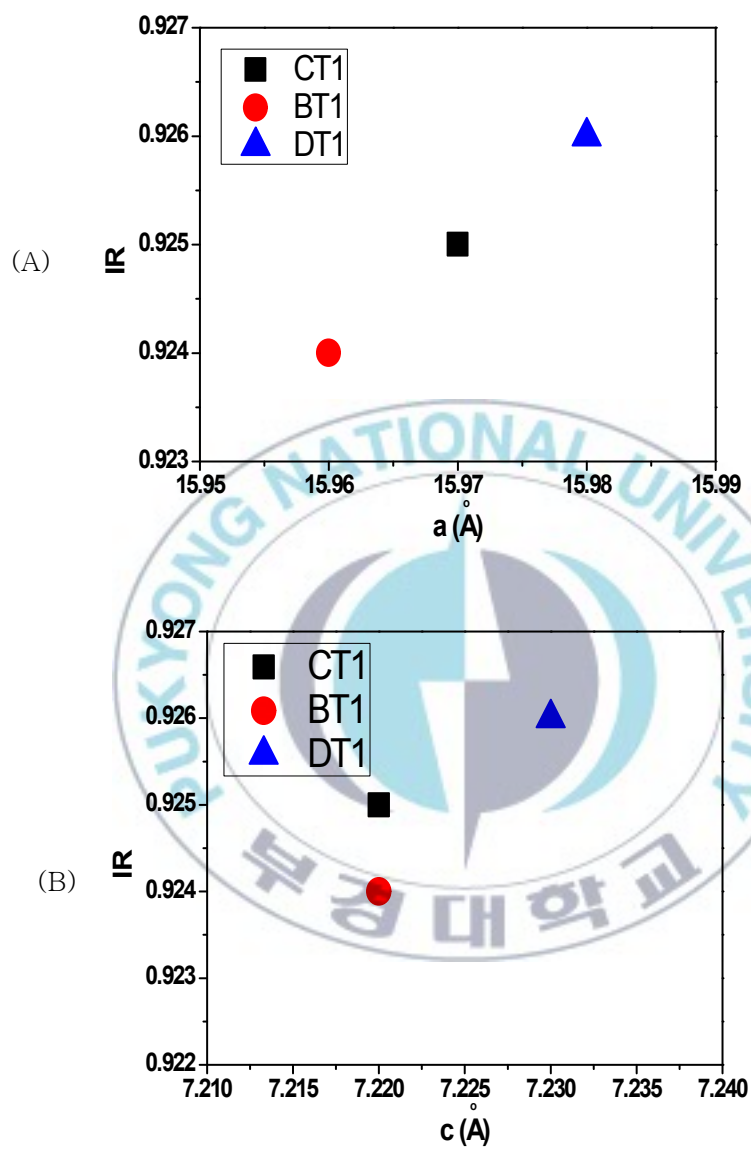


Figure 43. Relation between a and c parameter and IR intensities of the studied the tourmalines.

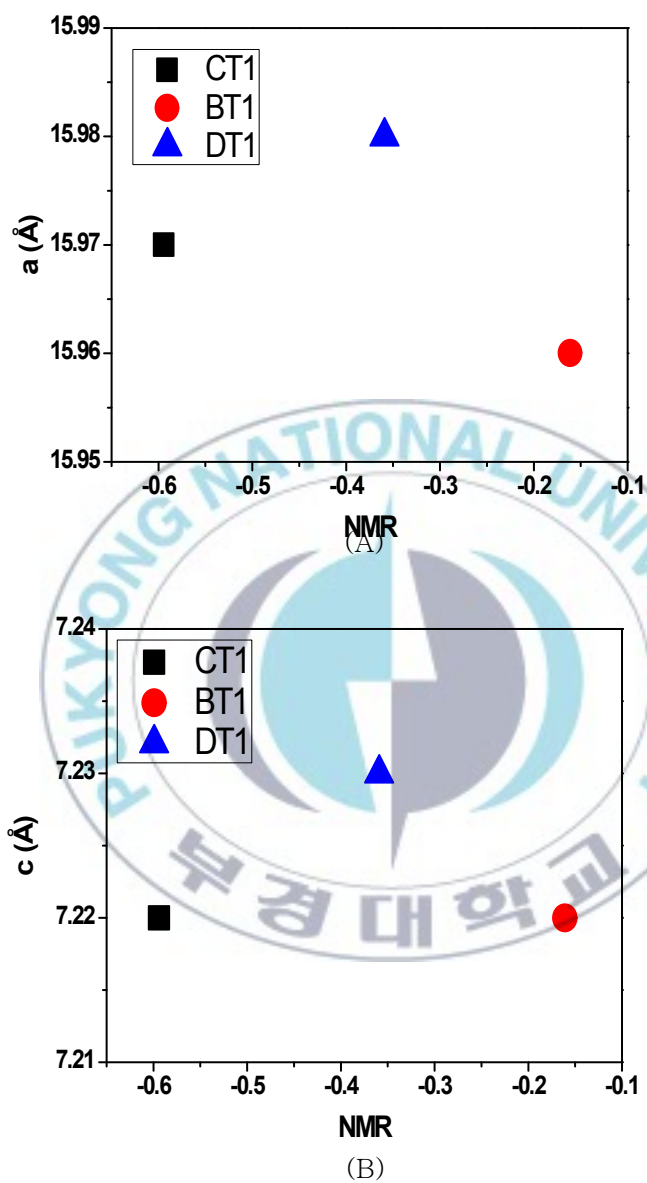


Figure 44. Relation between NMR values and a and c parameter of the studied the tourmaline powders.

6.4. 분광학적 에너지와 핵자기 공명 결과와의 상관성

전기석의 적외선 흡수스펙트럼은 규산염, 붕산염, 수산기 및 금속산화물 진동으로 형성된다. 전기석에서 금속 양이온이 형성하는 배위다면체의 진동빈율은 각각 $[\text{MgO}_6]$ - 470cm^{-1} , $[\text{FeO}_6]$ - 400cm^{-1} , $[\text{CaO}]$ - 380cm^{-1} , $[\text{NaO}_8]$ - 270cm^{-1} 로서 $[\text{SiO}_6]$ 비하면 빈율이 낮다(Sugiyam et al., 1992). 이것은 상대적으로 높은 배위수(6-8)를 반영한다. CT1, BT1 및 DT1시료는 $400\text{--}500\text{cm}^{-1}$ 에서 작고 예리한 봉우리를 형성하며, 상대적으로 볼 때 $\text{BT1} > \text{DT1} > \text{CT1}$ 순으로 낮아진다. CT1시료에서 509cm^{-1} 을 중심으로 비대칭의 좁은 범위에서 예리한 봉우리를 나타내며 BT1시료에서 512cm^{-1} 을 중심으로 비대칭의 좁은 넓은 범위에서 예리한 봉우리를 나타내며 DT1시료에서 523cm^{-1} 를 중심으로 대칭되는 넓은 범위의 흡수봉을 나타냈다. $550\text{--}750\text{cm}^{-1}$ 의 전기석이 비교적 강한 흡수봉은 CT1 713cm^{-1} , BT1 709cm^{-1} DT1 728cm^{-1} 부근으로 $[\text{SiO}_2]$ 구조와 관련되는 것으로 생각된다.

분석 자료중 붕소 양이온 흡수는 규산염이온 흡수와 중첩되며, CT1시료에서 1264cm^{-1} , BT1 1274cm^{-1} DT1 1439cm^{-1} 에서 강한 B-O에 의한 피크가 나타난다. 라만 흡수 스펙트럼의 관점에서 볼 때 B_2O_3 와 SiO_2 함량의 변화에 따라 760cm^{-1} 의 강도는 B_2O_3 의 함량의 증가에 따라 높아지는 연구결과(江富建, 2002; 陳建華, 1990; 任飛 외, 2005)와 일치한다.

실험에서 수산기에 의한 스펙트럼은 CT1(2067cm^{-1} - 3569cm^{-1}), BT1(2061cm^{-1} - 3555cm^{-1}), DT1(2524cm^{-1} - 3439cm^{-1})중심으로 넓은 흡수대를 보인다. 이것은 표면에 물 흡수가 존재하는 것을 반영한다. CT1 3569cm^{-1} , BT1 3555cm^{-1} 및 DT1 3019cm^{-1} 시료에서 관찰되는 물 분자와 수산기 이온의 신축진동을 나타낸다.

한편 원적외선 방사량과 핵자기 공명 전기석과 대조군인 옥광물의

^{17}O -NMR의 반치폭과의 비교에서는 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않으나, CT1시료에서는 낮은 반치폭과 상대적으로 높은 원적외선(IR) 방사량을 보여준다(Fig. 45).

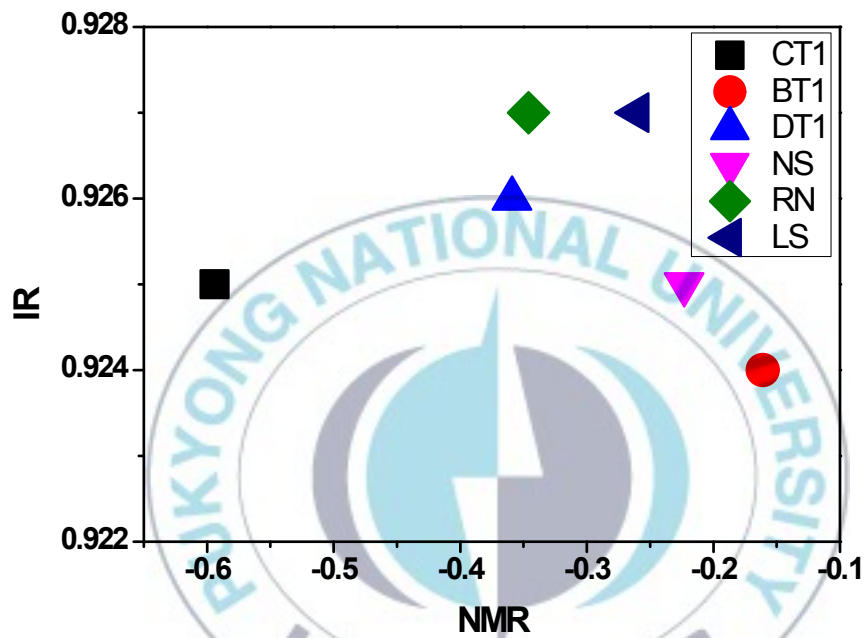


Figure 45. Relation between NMR contents and IR intensities of the studied the tourmaline powders

6.5. 음이온 함량과 분광학적 특성간의 관계

물속에서 전기석이 높은 음이온을 방출하는 메커니즘은 물분자의 미약한 전해작용으로 수산기이온을 형성하기 때문이다. 입도가 매우 작은 전기석의 경우에서도 전기장이 형성된 후 서로 작용하여 한 개의 전기마당을 형성한다(李文龍 외 2007; 高如琴 외 2007). 전기석의 높은 적외선 방사율과 전기석의 구조는 밀접한 연관성을 지니며, 결정격자 변화는 원적외선 방사율에 영향을 준다고 알려져 있다(고상모 외, 1997; 지형준 외, 1996; 김재운 외, 2001).

한편, 공기 중에 존재하는 오염물질은 주로 양이온을 형성하며, 이러한 양이온은 인체에 부정적인 영향을 일으키게 된다(楊偉軍 외, 2006). 공기 중의 음이온은 비타민이라 불리며 건강에 유익한 물질로 알려져 있으며, 전기석 광물에서는 건강에 유익한 좋은 음이온이 생성되는 것으로 연구되고 있다(王連軍 외, 2006). 음이온은 대기 중의 해로운 양이온을 침전시켜 제거하기 때문에 정화시키는 기능을 갖게 된다. 수중에 용존 되어 있는 음이온들 중에서 불소이온(F^-), 염소이온(Cl^-), 질산염(Nitrate, NO_3^{3-}) 등은 적당량으로 용존 되어 있는 경우는 인간에게 이로움을 주지만 과량으로 존재하는 경우는 여러 가지 해를 주기도 한다.

음이온 함량과 핵자기 공명(NMR)에너지의 반치폭의 상관관계는 결정입자와 분말시료일 경우에는 SO_4^{2-} 성분을 제외하고는 규칙성이 확인되지 않으며, CT1시료에서 특별히 좁은 반치폭을 띤다(Fig. 46, 47, 48). 이러한 결과는 입자시료의 경우 전해작용이 잘 이루어지지 않기 때문으로 생각되며(Fig. 48), 분말시료의 경우에도 매우 미립화되지 않을 경우에는 전기장의 형성에 장애가 일어날 수 있음을 시사한다(Fig. 47).

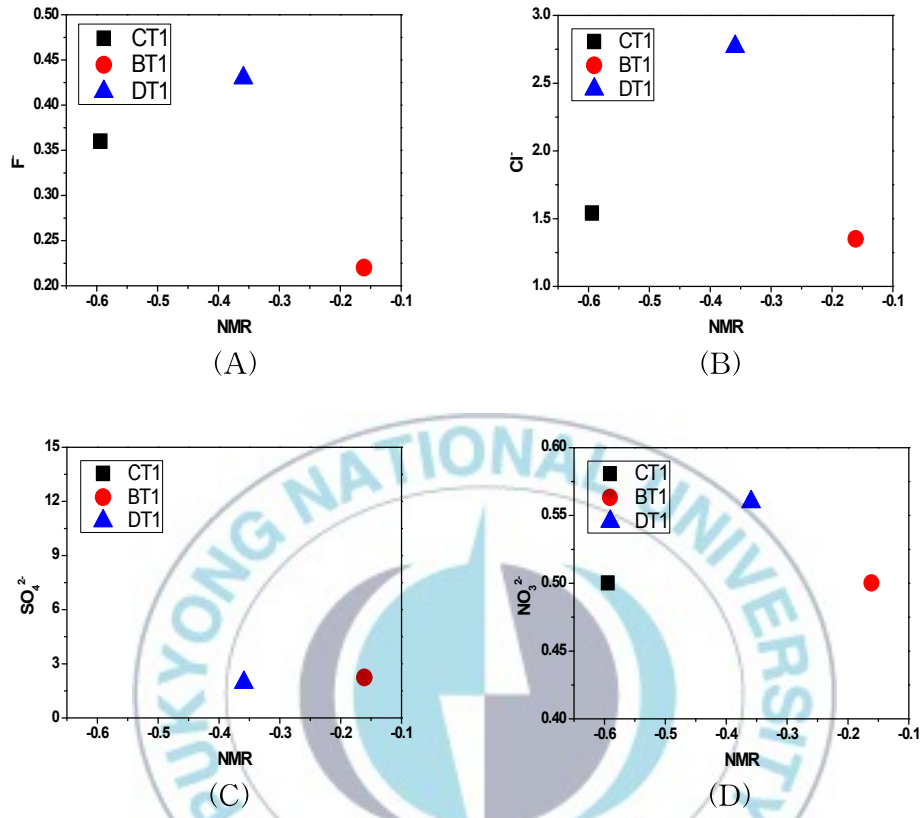


Figure 46. Relations between F^- , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^{2-} contents, and intensities of the studied the tourmaline grains.

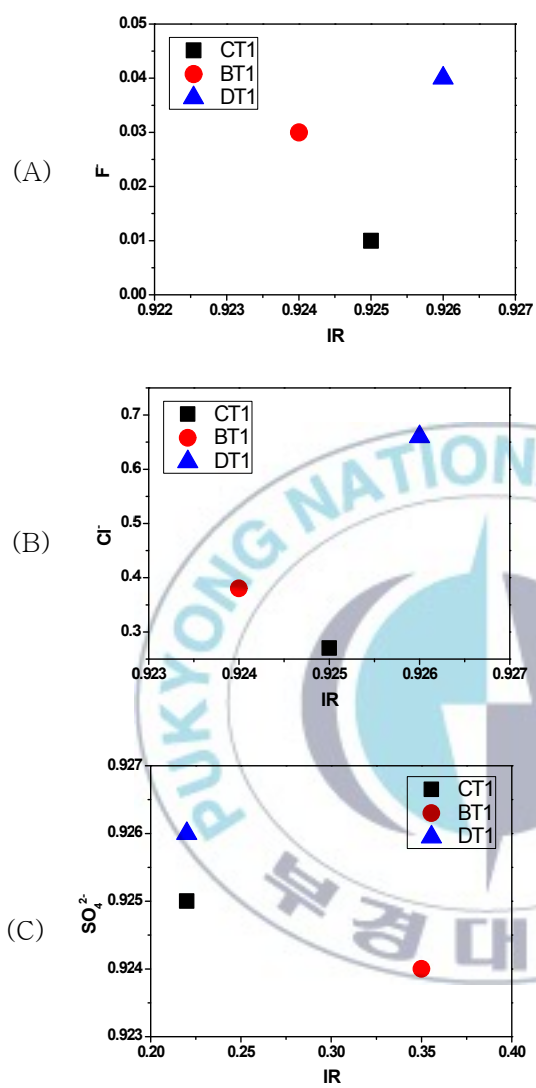
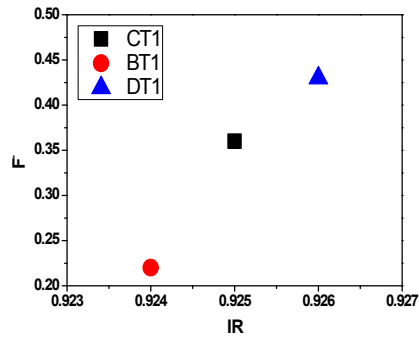
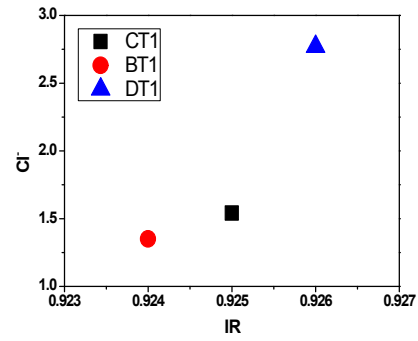


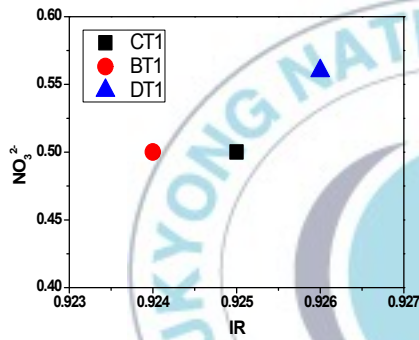
Figure 47. Relations between F⁻, Cl⁻ and SO₄²⁻ contents respectively, and IR intensities of the studied the tourmaline powders.



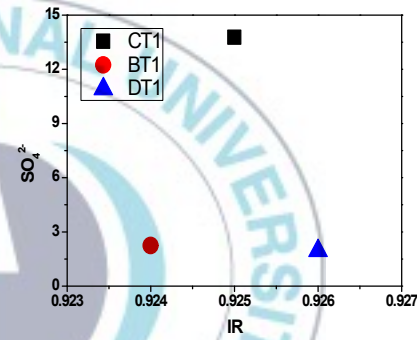
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure 48. Relation between F^- , Cl^- , NO_3^{2-} and SO_4^{2-} contents respectively, and IR intensities of the studied the tourmaline grains.

6.6. pH - Eh(DO) 조절 특성

전기석은 입도와 첨가량 뿐 만아니라 pH, Eh 및 온도에 따라 금속원소를 응집하여 제거하는데 영향을 주기 때문에 이러한 특성을 이용하여 폐기물의 정화에 적용되고 있다(Ji, Z. J. et al., 2002). 전기석 표면에 해리 산물로 OH^- 가 발생하기 때문에 전기석과 물과의 반응에 의한 pH와 Eh(DO)의 특성은 응용광물학적 활용을 결정하는 중요한 기초 자료가 된다.

Gupta(1991) 연구에 의하면 작은 에너지 파동에 의해 O-H 안정성을 낮아져서 양성자(H^+)로 전이된다고 알려져 있다. 전기석 입자표면 부근에 전기장이 형성되어 이온의 전이에 의해 이온화가 촉진되며, 일반적으로 탄산염에 의해 완화되어 용액의 pH이 조절된다. 천연수 중 일반적으로 pH는 6-9범위이다. 전기석이 물의 pH 충돌을 완화시키는 이유는 중금속이온의 존재 유무와 산화환원작용에 의해서이다. 전기석의 물에 대한 pH 조절작용은 일부 전기석의 미립자가 부분적으로 물에 용해되어 알칼리성이 된다는 주장이 제기되어 왔으나 최근 이런 작용을 전기석의 자연적인 전극성에 기인한다고 연구 하였다(Kubo, 1989). 물이 전해되어 수소 가스(H_2) 생성과 동시에 수산이온 H_3O_2^- 을 형성한다. 이러한 작용으로 자연수의 pH를 8.0로 유지되고 동시에 산화환원작용으로 변화된 전위는 pH를 조절하는 주요 요인으로 확인되었다.

6.7. 전기석과 옥광물의 방사 및 분광 에너지 비교

전기석과 옥광물의 온열지속반응을 비교 결과, 전기석은 온열지속반응 직후 체온이 1.5℃ 상승하였고 30분이 경과한 휴식상태에서는 초기의 체온과 큰 차이가 없는 것으로 확인된 반면, 옥광물(사문석옥)은 온열지속반응 경우 휴식상태에서 체온이 초기보다 0.5℃ 높은 것으로 나타나 온열 효과 지속성이 양호한 것으로 생각된다(Fig. 34). 이러한 결과는 옥광물 온열지속반응에서의 지속성이 전기석에 비해 다소 높은 것을 의미하며, 전기석이 지니는 전기성이 온열의 지속성에 별다른 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

전기석 온열지속반응후의 수축기 혈압과 이완기 혈압은 각각 온열 직전에 비해 10.0mmHg 상승하였고, 옥광물 온열의 경우는 수축기 혈압과 이완기 혈압은 각각 7.3mmHg 상승하였다(Fig. 35). 비록 옥광물 온열의 혈압상승이 낮으나 이는 실험오차의 범위로서 광물종의 차이로 인한 결과로 판단되지 않는다.

맥박은 전기석은 온열지속 반응 후 분당 12회 상승하였고 옥광물은 온열지속 반응 후 20회 상승한 결과는 옥광물 온열지속반응이 전기석 온열지속반응에 비해 맥박을 보다 안정시키는 것으로 판단된다(Fig. 37).

전체적으로 볼 때 옥광물 온열지속반응은 상승된 체온의 지속 효과가 크며, 혈압과 맥박은 보다 안정적으로 유지됨을 시사한다. 그러나 전기석 온열지속반응과 옥광물 온열지속반응에 의한 신체기능(체온, 혈압 및 맥박)에 대한 보다 정밀한 규명을 위해서는 실험군과 대조군의 대상 인원을 더욱 높일 필요가 있다. 전기석과 옥 광물의 방사 및 분광 에너지 비교 그림에서 옥광물은 전기석보다 높은 에너지를 갖으며, 옥광물 중에서도 연옥이 높은 에너지를 가짐을 나타냈다(Fig. 49). 이러한 결과로 미루어 볼 때 옥

광물로 분류되는 경옥, 연옥, 사문석옥, 마노옥의 결정학적인 특성과 각 광물의 구조의 차이에 따른 복합적인 요인으로 작용될 수 있기 때문에 이에 대한 정밀한 추가적인 연구에 의한 검토가 필요함을 알 수 있다.

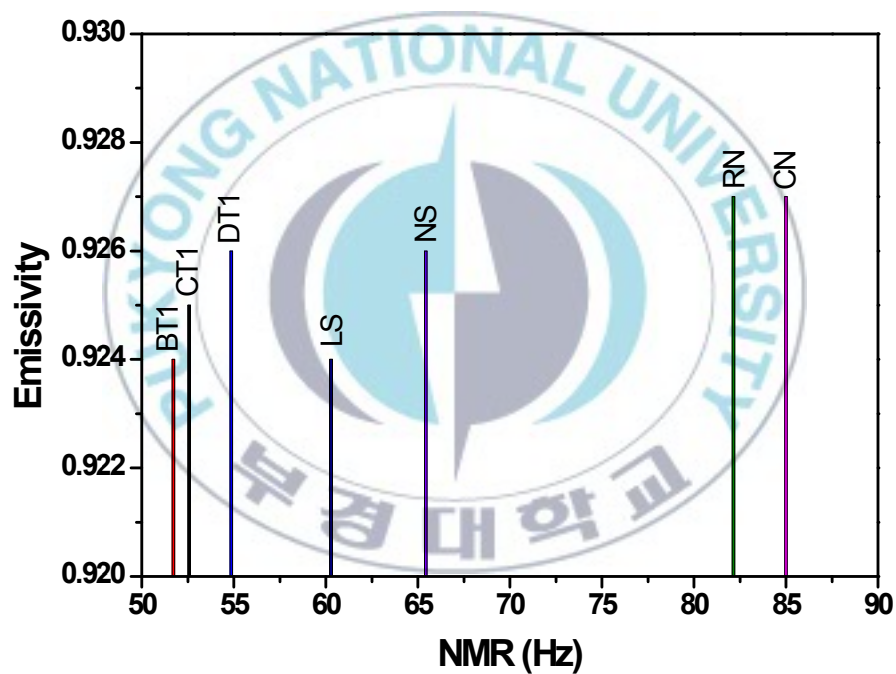


Figure 49. Relation between NMR, contents and emissivity of the studied the tourmaline powders.

6.8. 전기석과 옥광물의 방사에너지 및 인체 반응

광물은 의약품 제조에도 직접 또는 간접으로 많이 이용된다. 각종 광물들은 의약품 제조에 필요한 성분이 포함되어 있을 경우, 이를 추출하여 사용하고 있으며, 광물 자체가 의약품으로 직접 사용되기도 한다. 중국에선 현재까지 약제로 사용되는 광물종이 207종이나 된다. 이처럼 인체에 어떤 방식으로든 영향을 주는 광물에 대한 광물학적 연구 분야를 의료광물학이라고 한다(김선옥, 2002).

“신농본초”, “동의보감”, “본초강목”, “당본초”등의 여러 고서에서 언급하였듯이 옥과 전기석에서 나오는 에너지중에는 인체세포의 에너지파동과 같은 파동이 포함되어 있다(Tsuji, 1993; 黃云龍 외, 2003; 郭力, 2004).

따라서 옥과 전기석에서 발산하는 파동이 우리 인체 세포에 영향을 미치어 동명공진 작용을 함으로써, 혈액순환, 혈액의 약 알칼리화, 체내의 유해 노폐물 배설, 노화를 방지하는 것으로 알려져 있다(聶鳳軍 외, 1990). 이는 옥과 전기석만이 가질 수 있는 특이한 효과로 보고되어 있다. 옥과 전기석의 인체의 보건학적 특성은 전통적인 중국의 경전이론과 현대과학기술을 결합하여 옥반지, 옥매트, 옥목걸이, 전기석목걸이, 전기석팔찌, 전기석 베개, 전기석 침대 등은 ISO9002 국제 검증기관의 인정을 받았다(駱靖中, 2007; 魏健 외, 2003).

물 분자에서 산소와 수소간의 결합 O-H의 신축진동이 $2.5\text{--}3.5\mu\text{m}$ 에서, 평면 외 변각진동은 $10\text{--}14\mu\text{m}$ 에서 일어나며, 2차진동은 $5\mu\text{m}$ 및 $6\mu\text{m}$ 근방에 나타난다. 적외선은 자외선이나 가시광선에 비해 피부에 대한 투과 심도가 대체적으로 크다. 그러나 생체조직을 구성하는 물 분자를 비롯한 단백질, 지방 등 여러 분자들은 적외선을 흡수한다. 즉 이들 분자를 구성하는 원자사이의 각종 화학결합은 각각 일정한 파장의 적외선을 흡수하여 진동

및 회전에너지로 전환된다. 따라서 피부를 통해서 투과되는 적외선의 도달 거리 즉 투과심도는 그리 크지 못하다. 또한 인체피부에 함유된 물분자들은 적외선을 흡수하여 온도는 상승하게 된다(백우현, 2000).

물 이외에도 단백질, 지방 등 생체 성분도 적외선을 흡수한다. 적외선이 인체에 미치는 작용은 피부에서 흡수된 열에너지가 말초조직, 생체조직 및 생체의 전체에 미치는 열작용과 적외선의 특정파장에 해당되는 광양자에 의해서 피부의 외피 또는 내피 세포막의 수용기가 자극을 받게 되는 결과로 특정 파장의 적외선 신호가 세포가 활성화되는 비 열작용으로 구분된다.

적외선은 인체에 투과되면 열에너지로 변환되어 대부분 온열 효과를 나타낸다. 이때 온열작용으로 체온이 상승되어 생체 내 모든 화학 반응을 촉진시키는 결과가 된다(정구영, 백우현, 1997). 미약한 적외선의 에너지가 생체에 미치는 영향에 대해서는 아직 그 작용 메커니즘이 전혀 해명 되지 않은 상태에 있다. 지금까지 보고된 이들 실험 결과들은 고감도의 계측기를 사용했거나 세밀한 관찰에 의해서 비로서 감지될 수 있을 정도이며, 통계적으로 보면 유의한 결과라고는 보기 어렵거나 대조에 비하여 근소한 차이밖에 없는 경우가 대부분이다.

원적외선을 인체에 방사하게 되면 열에너지로 변하게 되고 혈액순환을 촉진시키고 그것이 지각신경에 의해 따뜻함을 느끼게 된다(정문식, 1995; 김선옥, 박맹언, 2001; 강세구, 2003). 인체도 일종의 천연 열원으로서 인체 에너지중의 45%는 적외선 방사형식으로 주위의 공간에 발산되고 있다. 인체의 피부에서 방사되고 있는 적외선의 파장은 3-50 μ m로서 그 중에서 8-14 μ m의 파장의 원적외선은 인체가 받아들이기를 좋아하는 파장대로 알려져 있다(지형준, 이상인, 1996; 정문식, 1995; 박완서, 1995).

원적외선이 인체에 어떠한 영향을 주는가에 대한 연구방법으로 여러가지

가설을 세워서 과학적 규명을 시도하고 있지만 원적외선이 인체 내의 물과 상호작용에 의한 가설이 타당성 있는 것으로 받아들여지고 있다. 인체는 75%의 물로 구성되어 있기 때문에 온열지속반응 실험에서 전기석과 옥의 가열로 의한 원적외선이 인체에 방사되면 인체의 기관에 영향을 있는 것으로 주어 또 생체활동을 활성화시킨다고 해석될 수 있으나 차후 보다 구체적인 연구의 보완이 필요하다.

6.9. 전기석의 의료광물학적 활용성

옥과 전기석의 원적외선 방사체가 유익한 도움을 줄 수 있다는 연구와 더불어 원적외선 산업이 발전하여 왔다. 원적외선의 원리를 규명하려는 기초 과학자로부터 원적외선을 실제로 이용하는 산업분야, 원적외선을 이용하여 새로운 치료기술을 개발하려는 의료분야 뿐만 아니라 건강에 관심을 갖는 일반인에게 까지도 관심이 높아지고 있다. 하지만 옥과 전기석으로 원적외선 복사체를 응용한 제품가운데서 효과가 인정 된 것도 있으나 과학적 근거가 명확하지 않아 원적외선 복사체의 산업을 촉진하기 위해서는 그 효과에 대한 검토가 요구된다.

원적외선에 조사된 물체는 표면에서 내부로 갈수록 서서히 흡수되어 내부에 도달했을 때 활성화된다(박맹언, 김선옥, 1999). 원적외선의 특성 중 물질을 구성하는 성분의 배열상태, 결합상태는 종류에 따라 특유의 진동과 회전주파수를 가지는 진동운동을 한다(고상모, 1996; 고광철, 1992). 전기석과 옥광물이 광물 자체로서 또는 물과의 반응에 의해 물의 구조를 변화시키거나 원적외선을 비롯한 분광에너지 및 핵자기 공명에너지에 영향을 줄 수 있으며, 이러한 현상은 인체에 함유된 물과의 반응에서도 유발 될 수 있을 것이다. 그러므로 천연광물의 의료광물학적 활용에 대한 연구는 더욱

중대 될 것으로 판단된다. 일반적으로 천연광물 및 암석이 원적외선의 방사율과 방사에너지에서 차이를 보이는 것은 원료를 구성하는 물질의 성분이 다르기 때문이다.

원적외선에 의해 물이 어떠한 변화를 일으킨다면, 물의 구조가 변화되거나 물속에 함유되어 있는 다른 분자와의 상호작용에 의한 변화를 생각할 수 있다. 물의 최저 진동전이 에너지와 회전 여기는 각각 약 $0.2\text{eV}(1.600\text{cm}^{-1})$ 로서 이는 원적외선의 파수범위에 포함되므로 물에 흡수되는 원적외선의 1차적인 과정은 물 분자의 진동여기에 의한 흡수이거나 회전 여기에 의한 흡수이다.

원적외선 파장은 온도가 상승함에 따라 중심이 단파장으로 이동하고 원적외선 방사에너지의 밀도는 증가하나 흡수율은 낮아진다. 원적외선의 방사율은 경옥, 연옥, 사문석옥, 마노옥 모두가 유사한 패턴을 가지나 그 에너지는 40°C 일 때 사문석옥의 방사율이 높다(김선옥, 2002).

우리의 신체는 75%정도의 수분과 단백질, 지방, 기타 물질로 구성되어 있다. $8\text{--}12\mu\text{m}$ 정도의 원적외선이 생체에 흡수되면 물과 유기 화합물의 흡수 스펙트럼과 부합하여, 생체 내의 분자가 공명, 흡수하여 공진 운동을 일으키고 그 결과 에너지가 높아져서 온열효과가 일어나고, 체내의 깊은 곳까지 영향을 미치고 체내의 세포가 활성화 되고 대사가 촉진된다(Inoue, et al., 1989).

원적외선의 인체 내의 작용은 피부를 통하여 그 내부의 $30\text{--}50\text{mm}$ 까지 침투하므로 신체 표면의 근육 층으로부터 혈관, 림프관 혹은 신경을 비롯한 모든 세포에 작용하여 열 효과를 미치고, 생체 반응으로서는 신체 내부로부터 데워서, 모세혈관을 비롯한 미세 등 정맥을 확장하고, 그에 의한 전신의 혈액 순환의 활성화, 신진대사의 강화, 체액의 순환장애를 제거하는 동시에 조직의 재생력을 높이고, 노폐물, 중금속, 독성물질의 배출에 도움

이 된다고 볼 수 있다(허 준, 1613; 김정진, 1991; 김항목, 1998; 이재영 외, 1999; 이장천, 박맹언, 2005).

전기석과 옥광물의 원적외선활용의 요점은 대상물체가 요망하는 파장을 선택적으로 방사할 수 있는가에 있다. 분자에 공진운동을 일으켜서, 관리하는 범위에서는 특정파장대의 원적외선 방사체의 활용의 효과를 올릴 수 있다면 인간의 건강관리에 크게 기대를 갖는 것은 당연하다고 생각된다.

전기석과 옥광물에 대한 원적외선이 인체 영향에 대해서는 영향이 실제 존재하느냐 또는 영향이 있다 하더라도 질병의 치료나 건강에 직접 또는 간접적인 효과가 있느냐에 대한 토의가 진행되어 왔다. 또한 효과가 실제 있더라도 지금까지 이론체계로서는 설명이 어려운 실정이다. 이러한 관점에서 약용으로 이용되는 옥과 전기석중에서 인체에 더 좋은 영향을 줄 수 있는 검토가 요구되며, 차후 새로운 연구 영역으로 확대 될 것으로 생각된다.

제 7 장 결 론

이 연구는 중국산 흑색 전기석(CT1, CT2, CT3, CT4 및 CT5)과 브라질산 흑색 전기석(BT1 및 BT2), 한국 대유광산의 흑색 전기석(DT1)을 비롯하여 대조 광물군으로 이용된 중국의 경옥, 연옥, 사문석옥 및 마노옥, 한국의 춘천 연옥, 북한 사문석옥, 러시아 바이칼산 연옥을 대상으로 광학적, 결정학적, 화학적, 분광학적 연구와 더불어 핵자기 공명 특성 및 건강 증진 용도로서의 임상학적 특성을 수행하였다.

이 연구에서는 전자현미경(SEM), X-선 회절분석(XRD), X-선 형광(XRF)분석, 유도결합 플라즈마 분광(ICP)분석, 푸리에 변환 라만 분광(FT-Raman) 분석, 원적외선(FIR) 분석, 핵자기 공명(NMR) 분석, 음이온(IC) 분석을 비롯하여 보건 의학적 활용성을 위한 임상학적 설문조사 등이 실시되었으며, 주요 결론은 다음과 같다.

1. 전기석 광물 동정에서 대상 시료의 화학식, 단위포 계수 및 적외선 흡수 스펙트럼 특징을 종합할 때, 한국산 DT1 시료는 철전기석에 속하며, 중국산(CT1, CT2, CT3, CT4 및 CT5)과, 브라질산 전기석(BT1 및 BT2)은 마그네슘 전기석의 특성을 나타낸다.

2. 화학특성에서 Y-사이트에 속하는 금속원소는 각각 높은 Fe과 Al 함량을 갖는 유형으로 구분되며, 이 둘 두 원소는 서로 상대적인 함량비를 나타낸다. Al 함량이 높으면 Fe 함량이 감소되며, Mg 함량은 증가된다. K와 Ca 및 Na와 K 함량 구성 비율이 상대적이며 Fe와 B 함량은 상대적인 함량비를 갖는 고용체를 형성한다. $\text{CaO}/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ 와 $\text{MgO}/\text{FeO}+\text{MgO}$ 의 함량비는 높은 $R=0.714$ 정(+)의 상관관계를 갖는다.

3. 중금속 성분에서 전기석에는 비교적 많은 미량원소가 함유되며, 그중

환경 중금속에 속하는 Cr, Cu, 및 Zn의 함량은 산지별 특성이 다양하며 전기석의 의학적 활용을 위해서는 정밀한 검토가 요구된다.

4. 물과 전기석 및 옥광물 간의 반응에서 pH와 DO는 반응시간이 길어짐에 따라 증가하며, 이는 전기석이 pH-Eh 조절작용에 효과적임을 반영한다. 전기석은 첨가 함량이 많아질수록 pH가 높아지며, pH=8에서 안정된다. 그러나 전기석은 옥광물에 비해 낮은 DO를 형성하며, 그 변화폭이 크다.

5. 전기석의 흡수 스펙트럼의 파장과 강도는 구성원소의 함량과 결정학적 특징에 따라 달라진다. 특히 철의 함량증가는 방사량을 감소시키는 것으로 확인되었다.

6. 전기석 분말과 입자를 증류수에 넣고 일정한 시간이 경과한 후에 측정된 ^{17}O -NMR 분석결과 전기석은 53, 51, 52, 55Hz 반치폭을 감소시키는 것으로 확인되었다. 한편, 옥광물은 60, 65, 82, 85Hz에서 반치폭의 변화가 크다.

7. 증류수와 전기석 분말 및 입자와의 반응을 통해 증류수는 알칼리화되며, 음이온 중 입자시료와의 반응에서 F^- , Cl^- , 및 SO_4^{2-} 가 상대적으로 높게 생성된다.

8. 전기석과 옥광물의 온열지속반응에 의한 온열효과에서 옥광물에 의한 온열이 상승된 체온의 지속 효과 및 혈압과 맥박을 보다 안정적으로 유지됨을 나타냈으며, 옥광물은 전기석보다 높은 적외선 방사에너지를 나타냈다.

9. 전기석 비누는 피부에 매우 좋은 효과를 나타낸다. 특히 알레르기성 등 문제가 있는 피부에 보통이상의 개선효능이 뛰어난 것으로 확인되었다.

10. 주요 산지별 전기석의 응용광물학적 연구결과는 전기석의 환경 및 의료보건 분야에 유용한 자료를 제공하는 것으로 판단되며 의학적으로 효과는 앞으로 의학 분야와의 학제 간 연구가 필요하다.

참고문헌

- 강세구, 2003, 원적외선과 온열효과가 인체에 미치는 생리적 효과에 관한 연구, 전북대학교 대학원 석사학위논문, 56p.
- 고광철, 1992, 원적외선 사우나와 게르마늄, 264p.
- 고상모, 1996, 원적외선 방사 원료광물 및 암석 특성, 광물과 산업. v. 9, no. 2, 2-8.
- 고상모, 김문영, 1997, 천연광물과 암석의 원적외선 방사특성 및 활용검토, 제3회 한일원적외선 심포지움 논문집, 7-23.
- 김선옥, 2002, 반응경로모델링에 의한 광물약의 체내 존재형태 규명과 유효 성분 탐색; 신약물질 개발의 활용성 연구, 부경대학교 박사학위논문, 156p.
- 김선옥, 박맹언, 2001, 광물성 한약재로 이용되는 철산화 및 수산화 광물의 분광학적 및 자기적 특성, 대한자원환경지질학회 학술발표회 논문집, 330-334.
- 김수진, 1996, 광물학원론, 우성출판사, 512-575.
- 김완겸, 2004, 원적외선과 음이온이 인체에 미치는 효과, 원광대학교 한의학전문대학원 석사학위논문, 93-106.
- 김원사, 1993, 보석 내포물, 춘광 도서출판사, 395-401.
- 김원사, Wight, W., 2008, 비씨제이드의 보석학적 연구, 한국광물학회지, 21, 177-182.
- 김재윤, 박연환, 박돈묵, 박래준, 2001, 원적외선의 인체작용 메카니즘, 대한 물리치료학회지, 13(2), 477-482.
- 김정진, 1991, 생리학, 고문사, 61-152.

- 김항목, 이미려, 엄수학, 황진연, 1998, 한국 용골에 대한 생약품질 표준연구, 제53차 대한지질학회학술발표회 논문집, 42-42.
- 류주환, 1993, NMR Spectroscopy의 원리 및 응용 : 액체 상태 NMR, 고분자과학과 기술, 211-225.
- 민경덕, 서연희, 근병사, 1987, 응용지구 물리학, 우성문화사, 231-300.
- 박맹언, 강정미, 1995, 춘천산 연옥의 조직 및 인성에 관한 연구, 한국광물학회지, v. 8, 29-36.
- 박맹언, 김선옥, 1999, 가상체액에 대한 광물약의 반응특성 모델링: 위액 - 주사 반응과 수은 착물의 농도, 한국광물학회지, 12권, 43-53.
- 박완서, 1995, 국내외 원적외선 이용현황, 제1회 원적외선 가열·건조 심포지움 발표집, 35-37.
- 백우현, 2000, 원적외선 기능수와 수돗물의 수질특성비교, 원적외선 기술향상 세미나, 5-26.
- 엄결, 박맹언, 2006, 의료용으로 활용되는 산지별 옥의 광물학적 특성연구, 암석학회·한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 106-108.
- 엔지(嚴潔), 2006, 의료용으로 활용되는 산지별 옥의 광물학적 특성연구, 석사학위 논문, 64p.
- 이장천, 박맹언, 2005, 약용광물학, 의정당, 649p.
- 이재영, 황덕환, 이인호, 1999, 약광물로서의 활용을 위한 활석에 대한 환경지구화학적 연구, 자원환경지질, v. 32, 599-609.
- 정구영, 백우현, 1997, 생체조직에 미치는 원적외선의 효과, 제3회 한일원적외선 심포지움 논문집, 81-89.
- 정문식, 1995, 금속과 독성, 환경화학, 신광문화사, 525-562.
- 정윤희, 2002, 의료용으로 이용되는 천연광물(광물생약)의 분광학적 및 자석적 특성, 부경대학교 대학원 석사학위논문, 56-59.

- 지철근, 2004, 원적외선의 특성과 효능, 349p.
- 지형준, 이상인, 1996, FT-IR을 이용한 원적외선 방사특성, 요업기술학회, Vol. 11, No. 1, 30-38.
- 한국생약학교수협의회, 1995, 본초학, 大韓藥師會, 900p.
- 한국원적외선협회, 2000, 평가 및 이용기술분야, 원적외선자료집, 231-300.
- 허 준, 1613, 동의보감, 성문사, 142-817.
- 홍승호, 윤욱, 1993, 장계도폭 지질보고서, 한국자원연구소, 4-9.
- Barton, R.Jr., 1969, Refinement of the crystal structure of buergerite and the absolute orientation of tourmalines, *Acta Crystallographica* section B, 25, 1525-1533.
- Bailey, S.W., 1991, Halloysite-a critical assessment, *Sciences Geologiques Memoires*, 86, 89-98.
- Brindley, G.W., 1980, Order-disorder in clay mineral structures: In crystal structures of clay minerals and their x-ray identification, Mineralogical Society, London, 125-195.
- Dietrich, R.V., 1985, The tourmaline group, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 300p.
- Gruner, J.W., 1934, The structure of vermiculites and their collapse by dehydration, *American Mineralogist*, 19, 557-575.
- Gupta, R.P., 1991, Remote Sensing Geology, Springer-verlag, Berlin, New-York, 1-34.
- Herber, R.F.M. and Stoeppler, M., 1994, Trace element analysis in biological specimens, Elsevier, Amsterdam, 576p.
- Inoue, S. and Kabaya, M., 1989, Biological activities caused by far-infrared radiation, *International Journal of Biometeorology*, 33,

145-150.

- Ji, Z.J., Jin, Z.Z., Liang, J.S. et al., 2002, Influence of tourmaline on pH value of water, *China Environmental Science*, 22, 515-519.
- Jolliff, B.L., Papike, J.J. and Shearer, C.K., 1985, Tourmaline as a recorder of pegmatite evolution: Bob Ingersoll pegmatite, Black Hills, South Dakota, *American Mineralogist*, 71, 472-500.
- Ju, K. and Kubo, T., 1997, Power spectral analysis of autonomic nervous activity in spontaneously hypertensive rats, *Biomedical Sciences Instrumentation*, 33, 338-343.
- Kubo, T., 1989, Engineering application of solid state physics: Interface activity of water given rise to by tourmaline, *Solid State Physics*, 27, 303-313.
- Nakamura, T. and Kubo B.T., 1992, Tourmaline group crystals reaction with water, *Ferroelectrics*, 137, 13-31.
- Nakamura, T., Fujishiro, K., Kubo, T. et al., 1994, Tourmaline and lithium niobate reaction with water, *Ferroelectrics*, 155, 207-212.
- Okada, K., Kikuchi, S., Ban, T. et al., 1992, Difference of mechanochemical factors for Al_2O_3 powders upon dry and wet grinding, *Materials Science Letters*, 11, 862-864.
- Prasad, P.S.R., 2005, Study of structural disorder in natural tourmalines by infrared spectroscopy, *Gondwana Research*, 8, 265-270.
- Schroeder, P.A. and Pruett, R.J., 1996, Fe ordering in kaolinite: Insights from ^{29}Si and ^{27}Al MAS NMR spectroscopy, *American Mineralogist*, 81, 26-38.
- Temuujina, J., Okadab, K., MacKenzie, K.J.D. and Jadambaad, Ts.,

- 1998, The effect of water vapour atmospheres on the thermal transformation of kaolinite investigated by XRD, FTIR and solid state MAS NMR, European Ceramic Society, 19, 105-112.
- Tsuji, J.S., 1993, Effects of chemical and physical form on the bioavailability of arsenic in the environment, New orleans, 94p.
- 陳春云, 姚堯. 2007, 環境功能負離子涂料的制備及抗菌性能研究, 中山大學學報: 自然科學版, 46(B06): 171~172.
- 袁昌來, 劉心宇, 2007, 天然礦物電氣石產生空氣負離子性能研究, 功能材料, (A09): 3317~3319.
- 李文龍, 張占平等, 2007, 電氣石礦物材料的特性, 功能材料, A09期.
- 高如琴, 鄭水林等, 2007, 電氣石對硅藻土基多孔陶瓷結構和性能的影響, 功能材料, A06期.
- 楊如增, 徐禮新, 2007, 電氣石的化學成分與其晶格常數的關係, 同濟大學學報, 自然科學版, 35(10): 1425~1429.
- 張志湘, 余麗秀等, 2007, 電氣石深加工與應用技術研究現狀, 中國建材科技, (5): 41~45.
- 王光華, 董發勤. 2007, 電氣石的功能屬性及其應用. 中國非金屬礦工業導刊, (5): 9~11.
- 姚志通, 叶瑛等, 2007, 電氣石在水產養殖水處理中的應用, 漁業現代化, (5): 18~19.
- 姚志通, 夏枚生, 張紅梅, 胡彩虹等, 2007, 電氣石對硝化菌生長和生物膜形成, 熟化的影響, 水產科學, 26(8): 461~464.
- 王敏, 張尚坤, 趙鵬大, 2007, 國內外電氣石研究進展, 山東國土資源, 23(6): 16-20.
- 梁岩, 商平, 孫恩呈等, 2007, 電氣石粉對油田采出廢水處理效果實驗研究,

- 岩石礦物學雜誌, 26(4): 375~380.
- 朱紅梅, 邢寶石, 朱杰等, 2007, 電氣石的開發前景廣闊, 山東陶瓷, 30(3): 45~46.
- 廖忠祚, 莫宜學, 潘桂棠等, 2007, 藏南過鋁花崗岩中電氣石的礦物化學特征及成因意義, 現代地質, 21(2): 291~295.
- 李奮平, 梁金生等, 2007, 電氣石/樹脂複合材料對柴油鍋爐油耗及排污的響, 硅酸鹽學報, (4): 23~27.
- 胥煥岩, 王鵬, 毛桂洁等, 2007, 電氣石在環境領域的最新應用研究: 處理色素藍BF~BR染料廢水, 環境工程學報, 1(4): 65~69.
- 李芳芳, 2007, 電氣石的性質及應用展望, 礦業快報, (3): 14~20.
- 吳麗娜, 王新偉, 李青山. 2007, 負離子塑料的制備與研究, 塑料制造, (3): 43~46.
- 甄剛, 2007, 電氣石保健行業的瑰寶, 知識經濟, (1): 26~27.
- 薛建玲, 許虹, 高一鳴等, 2006, 遼寧后仙峪礫礦床中電氣石的礦物學特征及其, 成岩成礦意義, 中國地質, 33(6): 1386~1392.
- 鄒中云, 管俊芳等, 2006, 電氣石粉吸附 Pb^{2+} 的實驗研究, 江蘇環境科技, 6: 87~91.
- 管登高, 陳善華, 唐科等, 2006, 電氣石微粉的研制及其在環境功能材料中的應用, 礦產綜合利用, (6): 43~46.
- 王連軍, 劉方. 2006, PET負離子纖維的制備及其性能研究, 合成纖維工業, 29(6): 12~14.
- 陳麗芸, 錢蕙春, 王瑛等, 2006, 負離子鑄鐵搪瓷的研制, 璃與搪瓷, 34(6): 10~14.
- 楊偉軍, 葛明橋, 李永貴等, 2006, 負離子織物負離子發生能力的影響因素, 紡織學報, 27(12): 88~91.

- 王連軍，劉方，2006，聚酯負離子纖維的制備及其性能研究，*聚酯工業*，19(6): 14~17.
- 杜亞利，丁浩. 2006，電氣石粉體的機械力化學法表面有機化改性研究，*中國非金屬礦工業導刊*，(s): 33~35.
- 潘艷芬，梁金生，歐秀芹等. 2006，電氣石遠紅外輻射對水表面張力的影響，*硅酸鹽學報*，34(5): 580~584.
- 呂世靜，李梅. 2006，負離子遠紅外功能整理劑及其在紡織業中的應用，*印染助劑*，23(9): 25~27.
- 巫靜，吳春龍，黃繩紀等，2006，電氣石性能與環保領域的產品開發應用，*廣州化工*，34(4): 69~72.
- 冀志江，金宗哲，梁金生等，2002，極性晶體電氣石顆粒的電極性觀察，*人工晶體學報*，(05): 17~20.
- 王進軍，陶曉風，王武軍. 聚類方法在電氣石顏色成因研究中的應用. *東華理工學院學報*，2006，29(1): 38~42.
- 展杰，郝霄鵬，劉宏等，2006，天然礦物功能晶體材料電氣石的研究進展，*功能材料*，(4): 28~30.
- 何登良，董發勤，2006，電氣石的環境功能屬性及其應用研究動態，*中國非金屬礦工業導刊*，(1): 10~14.
- 黃鳳萍，李纓，2006，負離子環保陶瓷的研究，*佛山陶瓷*，16(1): 4~7.
- 關有俊，何唯平，譚亮，2006，電氣石在內牆塗料中的應用研究進展，*應用化工*，35(2): 81~83.
- 盧填，張曉暉，吳瑞華等，2006，電氣石粉體電磁屏蔽性能研究，*非金屬礦*，29(1): 5~7.
- 王敏，王領法，張增奇等，2001，魯西柳家電氣石礦礦物學特征及成礦機理討，*山東地質*，17(1): 35~39.

- 王登紅, 陳毓川, 1996, 广西大厂电气石的成分与成因初探, 岩石礦物學雜誌, 15(3): 280~287.
- 毛景文, 王平安, 王登紅等, 1993, 电气石對成岩成礦环境的示踪性及應用條, 地質論評, 39(6): 497~507.
- 任飛, 韓躍新, 印万忠等, 2005, 濕式強磁選提純黑电气石的試驗研究, 金屬礦山, (5): 31~33.
- 江富建, 2002, 鈣鎂电气石檢測特征探析, 南陽師範學報, 1(2): 75~77.
- 劉强, 陳衍夏, 施亦東等, 2004, 电气石納米材料在衛生保健紡織領域的應用, 印染, (7)15-17.
- 林善園, 蔡克勤等, 2004, 电气石族礦物學研究的新進展, 中國非金屬工業導刊, (6): 21~24.
- 吳瑞華, 湯云暉, 張曉暉, 2001, 电气石的電場效應及其在环境領域中的應前景, 岩石礦物雜誌, 20(4): 12~16.
- 鄒仕庭, 1988, 哀牢山南段寶石礦產的初步認識, 云南區域地質, (6): 56~60.
- 季賦屏, 彭光菊, 盧宗柳等, 2004, 我國电气石資源分布、地質特征及其開發利用, 前景分析, 礦產与地質, 18(5): 493~497.
- 鄒仕庭, 周云霞, 陳尚迪, 1996, 新疆沙爾布拉克金礦床中的層狀电气石特征及成因, 成都理工學院學報, 1 23(1): 1~7.
- 陳建華, 1990, 新疆阿爾泰山寶石礦物的產出特征, 珠寶, (1): 13~67.
- 陳毓川, 毛景文等, 1995, 桂北地區礦床成礦系列和成礦歷史演化軌迹, 南宁: 广西科學技術出版社, (3): 35~49.
- 陳志强, 郭擁軍, 1994, 广西某地綠碧璽的發現与鑒定, 广西地質, 7(1): 37~40.
- 湯云暉, 馬喆生, 吳瑞華等, 2002, Mg~Fe 电气石的熱膨脹与相變, 礦物學報, 22(4): 383~386.

- 楊如增，楊滿珍等，2002，天然黑色電氣石紅外輻射特性研究，同濟大學學報：自然科學版，30(2)：183~188.
- 楊如增，陳海生，2002，天然黑色電氣石熱釋電特性的研究，寶石和寶石學雜誌，(1)：34~38.
- 張志湘，馮安生，2003，電氣石的自發極化效應在環境與健康領域的應用，中國非金屬礦工業導刊，(1)：47~49.
- 張開永，成學海，曲鴻魯，2004，國內外電氣石開發研究現狀及應用前景展望，礦冶，13(1)：97~100.
- 張曉暉，吳瑞華，湯云暉，2004，電氣石的自發電極性在水質淨化和改善領域的應用研究，中國非金屬礦工業導刊，(3)：39~42.
- 張志蘭，1980，秦東稀有元素花崗偉晶岩中電氣石及其紅外光譜，成都地質學院學報，(2)：8~45.
- 張志蘭，1988，秦嶺偉晶岩中電氣石比磁化率的研究，礦物岩石，8(1)：16~21.
- 張學凱，1993，雲南優質碧璽產區及其特征，珠寶科技，5(1)：60~61.
- 鄭水林，杜高翔，李楊，黃云龍，2004，超細電氣石粉體的制備和負離子釋性能研究，礦冶，13(4)：50~53.
- 郭力，2004，電氣石多功能環境健康，新中國非金屬工業導刊，10(5)：16~21.
- 黃云龍，鄭水林，李楊，常新安，2003，電氣石的加工應用現狀及發展前景，中國非金屬礦工業導刊，(4)：18~21.
- 聶鳳軍，孫浩，1990，內蒙古別魯烏圖銅礦區電氣石岩的發現及其意義，地質論評，36(5)：467~472.
- 韓躍新，任飛，印萬忠等，2004，內蒙古東部黑電氣石釋放負離子特性研究，礦冶，13(1)：34~37.
- 冀志江，金宗哲，梁金生等，2002，電氣石對水體pH值的影響，中國環境科學，

(6): 515~519.

魏健, 劉渝燕, 張開永, 2003, 電氣石應用專屬性研究, 非金屬礦, 26(1): 34~36.

駱靖中, 2007, 電氣石的特性及其在健康与環保領域的新用途, 中國非金屬礦工業導刊, (6): 17~19.

趙琮譯, 2001, 巴西的電氣石和海藍寶石礦床, Ccsar~Mendesjet寶石和寶石學雜誌, (2): 3~36.

盧宗柳, 2008, 我國電氣石礦產資源開發前景分析, 礦產与地質, 22(6): 562~565.

盧宗柳, 2008, 我國電氣石礦床類型及其地質特征, 礦產与地質, 22(2): 174~178.

佐佐木英明, 2000, 「 Fe_3O_4 」于／粒子o廿彳戈選別己磁氬特性, 粉体掃粉末冶金, 49(2): 135-139.

近澤正敏, 武井孝, 1991, 粉体力表面特性, 七鄉專歲夕又, 26(4): 3-18.

堀内弘之, 2001, X綜窯使ijJ, 日本結晶學會黏, 43(2): 137 -147.

刃譚敦民, 2007, “保健凉席”真有保障作用嗎?, 科學養, (8): 4~5.

응용광물학적 활용을 위한 주요 산지별 전기석의 특성 연구

엄결(嚴潔) Yan Jie

부경대학교 대학원 환경지질학과

요약

전기석(Tourmaline)은 천연광물 중에서 영구적으로 전기적 성질을 갖는 규산염 광물로서, 그 전기성이 응용광물학적으로 활용된다. 그러므로 전기석의 물리적, 화학적 및 분광학적 특성의 이해는 환경분야 뿐만아니라 보건 분야의 용도와 활용성을 높이는데 있어 매우 중요한 의미를 지닌다.

이 연구는 중국산 흑색 전기석과 브라질산 흑색 전기석 및 핑크 전기석, 한국 대유광산의 흑색 전기석을 비롯하여, 대조 광물군으로 중국의 경옥, 연옥, 사문석 옥 및 마노옥, 한국의 연옥, 북한 사문석 옥, 러시아 연옥을 대상으로 전자현미경(SEM) 관찰, X-선 회절분석(XRD), X-선 형광(XRF)분석, 유도결합 플라즈마 분광(ICP) 분석, 퓨리에 변환 라만 분광(FT-Raman) 분석, 원적외선(FIR) 분석, 핵자기 공명(NMR) 분석, 음이온(IC) 분석, 핵자기 공명 특성을 규명하였다. 또한 전기석과 옥 광물의 광물학적, 화학적, 분광학적 특성에 대한 연구결과를 방사에너지의 분광학적 특성과 비교 검토하였다. 전기석이 지니는 계면 활성적 특성의 보건학적 효과를 규명하기 위하여 전기석이 함유된 비누를 제작하여 피부의 상태를 달리하는 50명을 대상으로 설문조사를 수행하였다.

전기석은 편광현미경 및 전자현미경 관찰 결과, 일반적으로 주상(柱狀)

결정형 또는 세립상의 집합체 양상을 나타내며, 생성환경의 차이에 의한 수직방향의 조선이 발달이 관찰된다. 연구 대상 시료의 화학식, 단위포 계수 및 적외선 흡수 스펙트럼 특징을 종합할 때, 한국산 시료는 철전기석에 속하며, 중국산과 브라질산 전기석은 마그네슘 전기석의 특성을 나타낸다.

화학조성에서 Y-사이트에 속하는 금속원소는 각각 높은 Fe과 Al함량을 갖는 유형으로 구분되며, 이 둘 두 원소는 서로 상대적인 함량비를 나타낸다. Al함량이 높으면 Fe함량이 감소되며, Mg함량은 증가된다. K와 Ca 함량은 그 구성 비율이 상대적이며, 이러한 특성은 Na와 K 함량에서도 동일한 양상을 나타낸다. Fe와 B 함량은 상대적인 함량비를 갖는 고용체를 형성한다. $\text{CaO}/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ 와 $\text{MgO}/\text{FeO}+\text{MgO}$ 의 함량비는 높은 정(+)의 상관관계를 갖는다.

산지별 전기석의 미량원소는 성분과 함량이 다양하며, 비교적 낮은 미량원소를 함유한다. 옥 광물의 경우, 러시아 연옥은 환경 중금속에 속하는 Cr, Cu, 및 Zn의 함량은 타 산지에 비해 매우 높다.

물과 전기석 및 옥 광물 간의 반응에서 pH-Eh 조절작용을 보여주며, pH와 DO는 반응시간이 길어짐에 따라 증가한다. 전기석의 입자의 경우에는 첨가 함량이 많아질수록 pH가 높아지며, pH=8에서 안정된다. 전기석은 옥광물에 비해 낮은 DO를 형성하며, 그 변화폭이 크다. 전기석은 증류수의 DO를 광물 첨가에 따라 초기 6시간동안은 미약한 증가시키며, 1일 경과 후에는 급격히 감소(DO=9.6이하)된 후 2일 및 5일까지는 완만한 증가를 보인다. 증류수에서는 1일 경과 후 pH가 7.22-7.26범위로서 강한 증가를 나타내며, 이후 5일 경과 후에는 감소되는 경향을 나타낸다. 한편 옥분말의 첨가에 의해서는 전기석에 비해 초기에 다소 낮은 pH(6.08-6.15)를 나타내며, 시간경과에 따른 변화는 전기석과 유사한 경향을 나타낸다. 5일 경과 후의 pH는 6.05-6.11로 유지되었다.

FT-IR분석에서 전기석 시료는 단파장에서 상대적으로 낮은 투과율을 나타내며, 흡수스펙트럼의 강도가 비교적 낮다. 전기석의 흡수 스펙트럼의 파장과 강도는 구성원소의 함량과 결정학적 특징에 따라 달라지며, 특히 철의 함량증가는 방사량을 감소시키는 것으로 확인되었다.

전기석의 화학조성과 분광학적 특성중 원적외선 방사량과의 상관성은 입자 시료의 경우에는 Si와 Fe함량의 방사량은 높은 정(+)의 상관성을 갖으나, Al와 Mg함량은 부(-)의 상관관계를 나타낸다. 전기석의 음이온 함량과 원적외선 방사량과의 상관성은 입자시료인 경우에는 F^- , Cl^- , NO_3^{2-} 성분에서는 비교적 높은 정(+)의 상관관계를 나타냈다. 한편, 결정학적으로 A축의 결정상수가 커짐에 따라 원적외선 방사량이 증가됨을 알 수 있다. 전기석과 옥 광물의 방사 및 분광 에너지 비교에서 옥 광물은 전기석보다 높은 에너지를 갖으며, 그중 연옥이 높은 에너지를 가짐을 나타냈다.

전기석 분말과 입자를 증류수에 넣고 일정한 시간이 경과한 후에 측정된 ^{17}O - NMR 분석결과, 전기석은 반치폭을 감소시키는 것으로 확인되었으며, 옥광물 보다 큰 반치폭의 변화를 보여줄 수 있다.

증류수와 전기석 분말 및 입자와의 반응을 통해 증류수는 알칼리화 되며, 음이온 중 입자시료와의 반응에서 F^- , Cl^- 및 SO_4^{2-} 가 상대적으로 높게 생성된다.

전기석의 온열지속반응에 의한 온열효과는 인체의 체온, 맥박 및 혈압에 영향을 준다. 전기석의 온열지속 반응의 경우 체온을 $1.5^{\circ}C$ 내지 $0.5^{\circ}C$ 정도 높아지고 또한 온열 효과가 지속되며, 맥박은 평균 12회, 혈압은 10mg Hg 상승한다. 전기석과 옥광물 온열지속반응 비교 결과 옥광물 온열지속 반응의 더 안정적인 것으로 나타났다. 전기석 비누는 피부에 매우 좋은 효과를 나타낸다. 특히 알레르기과 아토피 등의 문제성 피부에 보통이상의 개선효능이 뛰어난 것으로 확인되었다.

주요 산지별 전기석의 응용광물학적 연구결과는 전기석의 환경 및 의료 보건분야에 유용한 자료를 제공하는 것으로 판단되며 의학적으로 효과가 있는 것 같으나 앞으로 이 분야에 대한 추가적인 연구가 필요하다.



학위과정 연구

엄결, 박맹언, 2006, 의료용으로 활용되는 산지별 옥의 광물학적 특성연구, 암석학회 · 한국광물학회 공동학술발표회논문집, 106-108.

옌지(嚴潔), 2006, 의료용으로 활용되는 산지별 옥의 광물학적 특성연구, 석사학위 논문, 64p.

Yan Jie(嚴潔), 2010, 흑색 전기석의 특성 및 응용기초연구, 암석학회 · 한국광물학회 공동학술발표회 논문집.

Shi Xiaoli(石小丽)¹, Huang Yanlin(黃彦林)¹, Yan Jie(嚴潔)², ShiLiang(施亮)³, Qiao Xuebin(乔學斌)³, Hyo Jin Seo(徐孝鎭)³, Photoluminescence properties of a blue-emitting phosphor Eu^{2+} -activated $\text{Ca}_3\text{ZnAl}_4\text{O}_{10}$, Journal of Rare earths, vol. 28, No. 5, oct. 2010, p. 693.

감사의 글

논문을 마무리하고 감사의 글을 쓰는 지금, 눈물이 앞섭니다. 석사초년부터 지금까지 부족한 제자의 학문에 한없는 사랑으로 홀로 설 수 있게끔 해 주시려고 한결같은 가르침으로 지도해 주신 지도교수 박맹언 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 이 모든 것이 교수님의 지도가 없었으면 도저히 불가능한 일이었습니다. 교수님의 제자라는 사실은 저에게 평생 떼어놓을 수 없는 자부심이 될 것입니다. 앞으로 교수님의 기대에 저버리지 않는 제자가 되기 위해 노력하는 모습을 보여 드리겠습니다. 그리고 지속적인 사랑과 관심으로 논문을 수정해 주신 최정찬 교수님께 머리 숙여 감사를 드립니다. 또한 각별한 관심을 가지고 세심한 지도를 해주셨으나 논문 마무리를 보지 못하고 하늘나라에 가신 큰 아버지 엄수학 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 가운데 많이 부족한 저에게 논문 심사 및 학위를 수락해 주신 김영석 교수님, 김진섭 교수님, 박희율 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

대학원 생활에 많은 은혜와 사랑을 베풀어주신 백인성 교수님, 정상용 교수님, 송용선 교수님, 박계현 교수님, 이민희 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 서둘러 논문을 작성할 수 있도록 격려를 해주신 북경석유대학 림춘단 교수님, 장만송 교수님, 장춘대학 이용 교수님, 청도대학교 이진국 교수님, 부경대학교 산디학과 민병일 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 그리고 바쁜 와중에도 안부와 격려를 해주고 스톤까지 챙겨주신 한국보석학원 김정숙 원장님과 소장님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 자주 찾아오셔서 격려해주신 중국유학생 국걸, 장영, 충길, 사랑, 등에게도 감사를 드립니다.

또한 논문이 완성되기까지 많은 관심과 도움을 주신 김선옥 박사님께

진심으로 감사를 드립니다. 그리고 가까이에서 또는 멀리서도 항상 믿음과 격려를 보내준 연구실 백승균 박사님, 성규열 박사님, 김필근 박사님, 김의준, 김문호, 노상건, 임성택, 설미, 지희, 이경, 녀진, 그리고 부산대학원 이주연씨에게도 진심으로 감사를 드립니다.

오늘의 영광이 있기까지 항상 사랑으로 보살피 주신 부모님께 마음 깊이 감사드리며 부족한 며느리를 이해해주시고 격려해주신 시부모님께도 감사의 마음을 전합니다. 힘든 생활중에 유일한 안식처였던 사랑하는 동생 명희와 제부, 그리고 조카 영우에게도 감사의 마음을 전합니다. 바쁜 와중에도 자료를 많이 찾아주신 장춘도서관에 있는 동생 춘자에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 친구 허준걸 교수, 전승파 교수, 김룡택 교수, 영순 교수, 이단 교수, 명순, 금화, 경화, 수영, 동생 단화와 성봉, 조카 영애, 예현, 은미, 향요에게도 감사의 마음을 전합니다.

이 세상 무엇보다 귀중한 아름다운 보석 아들 훈익의 응원과 격려에 비할바 없는 고마움 마음을 전합니다.

마지막으로 논문이 완성 될 때 까지 가장 큰 어려움을 겪으면서도 언제나 변함없이 저의 뒷바라지를 해주신 세상에서 제일 사랑하는 남편 김선생에게 이 논문을 바칩니다.