ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 28(6), 225-230 (2018) https://doi.org/10.4283/JKMS.2018.28.6.225

A Study on Mössbauer Spectroscopy of Scoria at the Younger Cinder Cone, the Halla Mt. Area in Jeju Island

Jeong Dae Ko
Department of Physics, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

In Seop Yoon*
Department of Media Engineering, Kangwon University, Samcheok 25913, Korea

(Received 25 October 2018, Received in final form 11 December 2018, Accepted 12 December 2018)

The scoria samples is analyzed six regions formed in the several parasitic volcano in Halla Mt. on the Jeju Island. These samples is investigated for iron oxide, mineral compositions and magnetic properties by the XRD, XRF and Mössbauer spectroscopy. The results are SiO_2 is 42.74~48.69 wt%, $Na_2O + K_2O$ is 4.41~5.76 wt%. These tapes are the tephrite basanlte, trachybasalt and basalt. The main minerals are quartz, anorthoclase, albite and diopside. Also, we can see the iron compounds such as olivine, ilmenite, hematite, magnetite. According to Mössbauer spectroscopy on these iron compounds and most are composed of hematite and magnetite, which showing the hyperfine field. Fe^{3+}/Fe_{tot}. ratio was analyzed as 59.70~75.60 %, which is analyzed around Mt. Halla cinder cones higher than the value of the other site. Therefore, this sample were able to estimate that the formation at different points in time. The area ratio between the two sixtets is smaller than 2, which is the result of overlapping maghemite, hematite, and magnetite spectra that are not clearly distinguished at room temperature.

Keywords : younger cinder cone, scoria, XRD, XRF, Mössbauer effect, iron compound

제주도 한라산 후기 분석구 스코리아에 관한 Mössbauer 분광학적 연구

고정대
제주대학교 물리학과, 제주시 제주대학로 102, 63243

윤인섭*
강원대학교 미디어공학전공, 강원 삼척시 중앙로 346, 25913

(2018년 10월 25일 받음, 2018년 12월 11일 최종수정본 받음, 2018년 12월 12일 게재확정)

제주도 한라산 내의 서부 지역에 분포하는 후기 분석구 스코리아에 대한 화학적 조성 상태와 산화철의 원자가 상태 및 자기적 성질을 분석하였다. XRF 분석 결과로부터 SiO_2 함량이 42.74~48.69 wt%, $Na_2O + K_2O$의 함량이 4.41~5.76 wt%의 값을 가지는 것으로 보아 테프라이트 바사나이트(tephrite basanlte), 조면현무암(trachybasalt) 등의 알칼리 장석 계열 광물들이 주성분을 이루고, olivine, pyroxene, hematite, magnetite 등의 철 화합물이 포함되어 있으며, Mössbauer 분광 분석으로부터 대부분이 6중선의 초미세자기장을 나타내는 hematite와 magnetite로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 또한 olivine, pyroxene, ilmenite에 의한 2중선들도 함께 나타나고 있어 XRD 결과와 잘 일치하였다. Fe^{3+}/Fe_{tot}.의 값은 59.70~75.60 % 사이의 값을 나타내어 평균 67.84 %로 분석되었다. 이와 같은 결과들로 볼 때, 본 시료들은 단성화산의 스코리아이며, 기존 연구된 한라산 주변의 서부 중 산간 지역과는 다른 시기에 형성된 시료들임을 추정할 수 있다. 그리고 2개의 6중선간의 서로의 면적비가 2보다 작은 것은 상온에서 명확히 구분되지 않은 maghemite, hematite, magnetite 스펙트럼이 서로 중첩되어 나타난 결과임을 확인할 수 있다.

주제어 : 제주도 후기 분석구, 스코리아, XRD, XRF, Mössbauer 효과, 철 화합물

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author: Tel: +82-33-540-3442,
Fax: +82-33-540-3449, e-mail: isyoon@kangwon.ac.kr

I. 서　　론

제주도는 중앙에 있는 한라산체를 중심으로 하는 복성(polygenetic) 합화산체(composite volcano)와 수많은 단성화산체(pyroclastic cone)인 기생 화산(오름)으로부터 분출한 용암류 및 화산쇄설물이 합쳐지거나 층상으로 누적되어 형성되었다. 제주도의 화산 활동은 약 188 만 년 전부터 홀로세까지 진행되었으며, 화산 활동의 부산물들이 비교적 잘 보존되어 있어 연구 가치 또한 높다. 제주도 용암류의 화학 조성은 약 45~65 wt%의 SiO_2 함량 범위를 가지며, 알칼리현무암-조면현무암-현무암질, 조면안산암-조면안산암-조면암등의 알칼리 계열이 주를 이루고 있다[1]. 한라산 중심부 정상에 있는 백록담은 융기산체의 함몰구이며, 한라산을 형성한 정상 주변의 여러 소화산체들은 주로 스코리아(scoria)라고 하는 분석(噴石 cinder)으로 구성되어 있으며, 분석구(cinder cones)라고 한다[2-4]. 제주도의 화산 활동은 약 0.6 Ma(백 만년)전 현무암질 분출이 있은 후, 퇴적 환경에서 탐라층이 형성되었고, 이 탐라층이 생성된 뒤에 한라산이 만들어지기 시작하였다. 이 시기를 한라산 현무암군 시대라고 한다. 이 때 한라산 현무암군인 파호이호이(pahoehoe) 용암과 아아(aa) 용암이 분출하면서 후기 분석구가 형성되었다. 탐라층이 생성된 시기를 경계로 하여 그 이전에 생성된 전기 분석구(older cinder cones)와 그 이후의 후기분석구(younger cinder cones)로 구분할 수 있으며 한라산이 만들어지기 전에 생성된 한라산 이 외의 지역들의 다양한 분석구들은 한라산이 만들어 지기 전에 생성된 후기 분석구들로 알려져 있다. 특히 이들 분석구에서 얻은 스코리아 내에는 다양한 철 화합물이 존재하며, 이들에 관한 연구를 통해 유사점이나 차이점을 알아보고자 한다. 본 연구진은 전기 분석구에 대한 연구를 발표하였으며[5], 탐라층이 형성된 이 후에 분출된 후기 분석구 스코리아 시료들을 선택하여 X-선 형광법(XRF), X-선 회절법(XRD) 그리고 Mössbauer 분광법을 통해 시료에 대한 정성적, 정량적 분석을 진행함과 아울러 시료 내에 존재하는 철 화합물의 원자가 상태 및 자기적 특성을 조사하였다[6,7].

II. 시료 채취 및 실험

본 연구를 위한 스코리아 시료들은 A(사제비: 33° 37′ 45″N, 126° 79′ 74″E), B(이스렁: N33° 36′ 19″N, 126° 48′ 42″E), C(쉼터동산: 33° 37′ 55″N, 126° 47′ 41″E), D(어스렁: 33° 35′ 91″N, 126° 48′ 48″E), E(왕오름: 33° 35′ 50″N, 126° 47′ 51″E), F(장오름: 33° 35′ 65″N, 126° 46′ 71″E) 등의 6곳에서 채취되었으며, 이 위치들은 Fig. 1에 나타내었다[2]. 이곳은 한라산 서쪽에 위치한 해발 1,000 m 이상의 기생 화산(오름)에서 채취된 것이다.

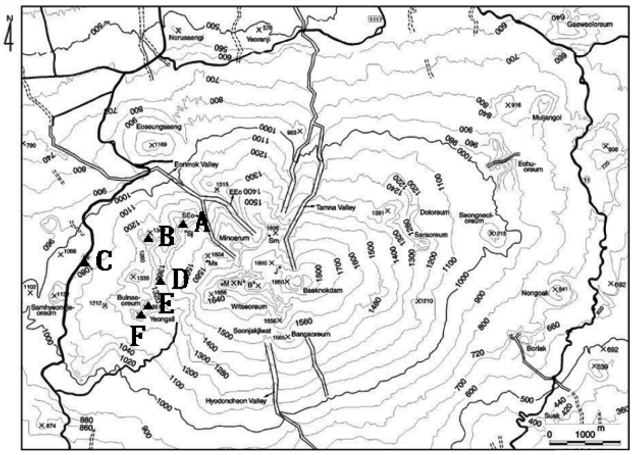

Fig. 1. The site of the scoria samples at younger cinder cone in Halla Mt. on Jeju island.

X-선 회절 분석을 위한 측정을 위해 Rigaku 사의 model No. 2000을 이용하였고 측정시 파장이 1.542495 Å인 Cu-Kα 선을 이용하였다. X-선 형광 분석을 위해 사용한 기기는 Rigaku사 모델 ZSX-100e X-선 형광분석계(XRF)이었으며 측정시 전압은 40 kV, 전류는 30 mA이었고, Rh 타켓이 사용되었다. Mössbauer 분광 실험은 RITVERC 사의 30 mCi Co^{57} 단일 γ 선원을 사용하였고, 약 5×10^5 이상의 계수가 이루어지도록 측정하여 오차를 줄였다.

III. 결과 및 고찰

1. X-선 회절 분석

스코리아 시료에 대한 X-선 회절 측정 결과는 Fig. 2에 나타냈다. 모든 시료들에서 hematite[적철석, H, α-Fe_2O_3]에 의한 피크들이 33.15°(d = 2.7 Å), 35.74°(d = 2.51 Å), 54.23°(d = 1.69 Å)[JCPDS 190664]에서 확인되었다. Magnetite[자철석, M, Fe_3O_4]에 의한 피크들은 35.45°(d = 2.53 Å)[JCPDS 65339]에서 확인되었다. Hematite(적철석, *H)*와 magnetite에 의한 피크들 중 부 피크들은 다른 광물들과 겹쳐져서 명확히 구분되지 않는다[8].

철 산화물인 olivine과 pyroxene에 관한 회절 선들은 모든 시료들에서 olivine[감람석, *O*, $(Mg,Fe)_2SiO_4$]에 의한 회절 선들이 32.17°(d = 2.78 Å), 35.45°(d = 2.53 Å), 36.31°(d = 2.74 Å) [JCPDS 710795]에서 확인되었고, Pyroxene[휘석, *P*, $CaMgSi_2O_6$]에 의한 회절 선들이 29.86°(d = 2.99 Å), 35.45°(d = 2.53 Å), 35.74°(d = 2.51 Å)[JCPDS 820460]에서 확인되었다. 휘석은 삼성분계를 이루며 다양한 화학 조성이 존재하며, 본 논문에서는 휘석의 한 종류인 단사휘석 diposide(투휘

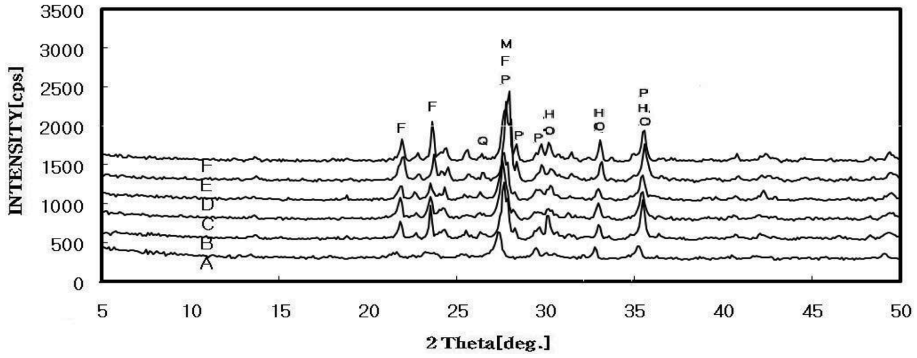

Fig. 2. X-ray diffraction patterns of scoria samples at younger cinder cone in Halla Mt. on Jeju island., olivine (*O*), pyroxene (*P*), ilmenite (*i*), hematite (*H*), magnetite (*M*), Feldspar (*F*).

석, $CaMgSi_2O_6$)에 의한 회절 선들이 모든 시료에서 확인되었다. 이 광물에 관한 피크들은 29.85°(d = 2.99 Å), 30.89° (d = 2.89 Å), 35.48°(d = 2.53 Å)[JCPDS 100738]에서 확인되었다. 이 외에도 비철 화합물들로는 quartz[석영, SiO_2] 그리고 장석을 확인할 수 있었다. Quartz에 의한 피크들은 27.8° (d = 3.20 Å), 21.93°(d = 4.05 Å)[JCPDS 830541]에서 확인되었다. 장석(feldspar)계열 광물로는 albite[*Al*, $(Na,Ca)AlSi_2O_8$]와 anorthoclase[*At*, $(Na,K)AlSi_3O_8$] 등의 회절선이 확인되었다. B, D, E 시료들에서는 장석의 한 종류인 albite의 피크들이 확인되는데, 이들의 피크들은 23.71°(d = 3.75 Å), 27.77° (d = 3.21 Å), 28.04°(d = 3.18 Å)[JCPDS 100393]에서 확인되었다. Anorthoclase의 피크들은 21.67°(d = 4.10 Å), 27.52° (d = 3.24 Å), 27.82°(d = 3.20 Å)[JCPDS 751630]이며 모든 시료에서 확인되었다. Illite, kaolinite 등의 점토 광물들이 나타나지 않는 것으로 보아 풍화 변질이 비교적 급격히 진행되지 못한 것으로 추정된다.

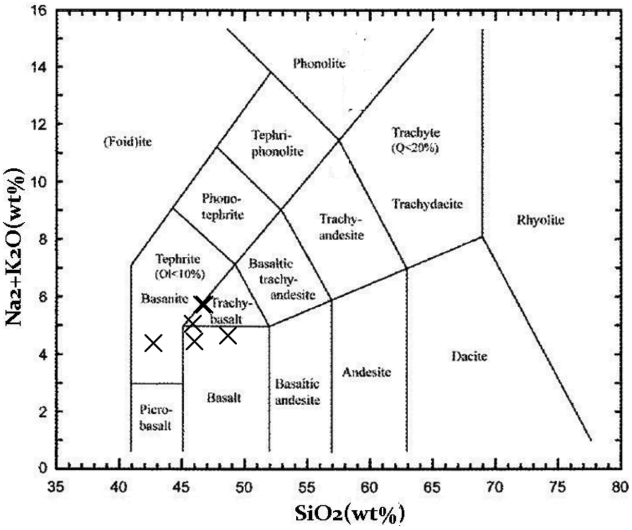

Fig. 3. The chemical classification for scoria samples (after Le Maitre, 2002).

2. X-선 형광 분석

스코리아 시료에 대한 X-선 형광 측정 결과 SiO_2는 41.55~46.69 wt%, Al_2O_3는 15.70~20.07 wt%, Fe_2O_3는 10.39~13.98 wt%, TiO_2는 1.97~3.22 wt%, MnO는 0.12~0.22 wt%, CaO는 4.89~7.61 wt%, MgO는 3.21~6.53 wt%, K_2O는 0.97~1.88 wt%, Na_2O는 2.53~4.32 wt%, P_2O_5는 0.50~1.00 wt%이었으며 Table I에 이 결과를 나타내었다. SiO_2 함량이 제주도 다른 지역에서는 약 45.0~65.0 wt%로 다양하게 나타나는 반면, 측정된 시료들은 42.74~48.69 wt%로 비교적 좁은 범위를 보이고 있다. 이것은 본 후기 분석구 시료들이 비슷한 시기에 형성되었다는 결과와 잘 일치한다[1].

Table I. XRF data of scoria samples at younger cinder cone in Halla Mt. on Jeju island at 290 K.

Sample	Al_2O_3 wt%	CaO wt%	Fe_2O_3 wt%	K_2O wt%	MgO wt%	MnO wt%	Na_2O wt%	P_2O_5 wt%	SiO_2 wt%	TiO_2 wt%	L.O.I wt%	Total wt%
A	16.70	5.69	13.46	1.88	6.32	0.21	2.53	0.58	42.74	2.87	5.68	95.78
B	18.83	7.47	11.65	1.04	3.86	0.16	3.42	0.50	45.99	2.68	3.01	98.61
C	17.64	4.89	12.60	1.74	2.58	0.22	4.02	1.00	46.80	1.97	5.08	97.53
D	17.52	7.42	11.80	1.21	4.12	0.16	3.88	0.61	45.86	2.62	3.56	98.74
E	16.64	6.56	12.96	1.18	3.46	0.19	3.50	0.61	48.69	2.67	2.18	98.64
F	18.57	7.59	10.39	1.43	3.33	0.15	4.32	0.54	46.60	2.40	3.89	99.21

LOI: Loss on ignition

본 시료들에 대한 $Na_2O + K_2O$에 대한 SiO_2 상관도(TAS diagram)를[9] Fig. 3에 나타내었다. 이 그림에서 나타난 바와 같이, SiO_2 함량에 따라 염기성 또는 초염기성암으로 구분되어지고, $Na_2O + K_2O$의 값이 4.41~5.76 wt%에 분포하고 있으므로 다음과 같이 분류할 수 있다. A 시료들의 SiO_2와 $Na_2O + K_2O$의 값은 각각 42.74 wt%, 4.41 wt%이므로 테프라이트 바사나이트(tephrite basanlte)로 분석되었다. C, F 시료들의 SiO_2와 $Na_2O + K_2O$의 값은 각각 46.60~48.80 wt%, 5.75~5.76 wt%이므로 조면현무암(trachybasalt)으로 분석되었다. B, D, E 시료들의 SiO_2와 $Na_2O + K_2O$의 값은 각각 45.86~48.69 wt%, 4.47~5.09 wt%이므로 현무암(basalt)으로 분석되었다.

3. Mössbauer 분광 분석

스코리아 시료들을 상온(290 K)에서 측정한 Mössbauer 스펙트럼은 Fig. 4과 같다. 이 스펙트럼으로부터 구한 Mössbauer parameter 값들을 Table II에 나타내었다.

Fig. 4의 스펙트럼을 XRD와 비교한 결과로부터 모든 시료들에서 hematite 또는 magnetite에 의한 6중선과 olivine, pyroxene에 의한 2중선들이 나타나고 있는 것으로 분석되었다.

Table I에 나타난 바와 같이 2개의 6중선들 중 하나인 H1은 hematite 또는 magnetite의 사면체(A site)에 의한 isomer shift(*I. S.*) 값으로 추정된다. 각각 0.53 mm/s~0.55 mm/s[12]이었다. 이로부터 철의 원자가 상태는 Fe^{3+}에 의한 것임을 알았다. Quadrupole splitting(*Q. S.*) 값은 0.20 mm/s~0.23 mm/s이었으며, magnetic hyperfine field(H_{hf}) 값은 509.53 kOe~518.99 kOe의 분포를 나타내고 있다[10].

H2인 나머지 6중선은 magnetite의 팔면체(B site)로 추정되며 *I. S.*와 *Q. S.* 값은 0.55 mm/s~0.74 mm/s와 0.06 mm/s~0.31 mm/s로 측정 분석되었으며 magnetic hyperfine field (H_{hf}) 값은 467.66 kOe~505.11 kOe로 분석되었다[11].

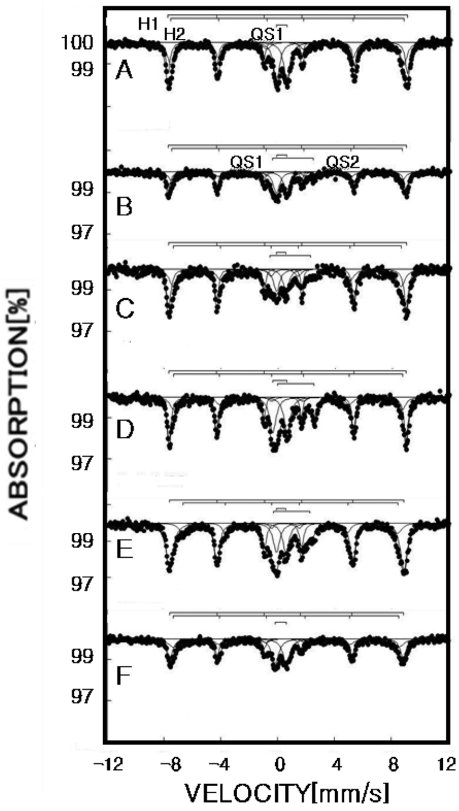

Fig. 4. Mössbauer spectra of the scoria samples at younger cinder cone in Halla Mt. on Jeju Island. H1 (hematite or magnetite-A), H2 (magnetite-B), QS1 (olivine), QS2 (pyroxene).

시료들 내의 H1과 H2의 면적 비율인, H1/H2 값은 0.26~

Table II. Mössbauer parameters of scoria samples at younger cinder cone in Halla Mt. on Jeju island at 290 K.

Sample		QS1		QS2		H1			H2			$Fe^{3+}/Fe_{tot.}$
		I.S. mm/s	*Q.S.* mm/s	*I.S.* mm/s	*Q.S.* mm/s	*I.S.* mm/s	*Q.S.* mm/s	H_{hf} kOe	*I.S.* mm/s	*Q.S.* mm/s	H_{hf} kOe	Area (%)
A	Parameter	0.24	0.71			0.54	0.23	518.99	0.57	0.12	505.11	
	Area (%)	29.5				33.81			36.68	(H2/H1 = 1.08)		70.49
B	Parameter	0.26	0.74	1.03	2.85	0.53	0.22	516.25	0.56	0.13	500.23	
	Area (%)	30.08		9.25		35.15			25.52	(H2/H1 = 0.73)		60.67
C	Parameter	0.22	0.65	0.84	2.86	0.53	0.23	516.33	0.55	0.16	494.57	
	Area (%)	16.17		8.24		42.15			33.45	(H2/H1 = 0.79)		75.60
D	Parameter	0.13	1.01	1.13	2.58	0.54	0.26	516.58	0.62	0.14	498.84	
	Area (%)	25.87		14.43		40.61			19.09	(H2/H1 = 0.47)		59.70
E	Parameter	0.25	0.66	0.98	2.57	0.55	0.20	510.31	0.74	0.31	467.66	
	Area (%)	16.69		11.49		57.08			14.74	(H2/H1 = 0.26)		71.82
F	Parameter	0.23	0.79			0.53	0.22	509.53	0.56	0.06	491.98	
	Area (%)	31.26				38.76			29.98	(H2/H1 = 0.77)		68.74

1.08로 분석되었다. 이 비율이 H1/H2 < 2.0인 것은 각각의 6중선들이 순수한 magnetite와 다른 철 화합물에 의한 면적이 중첩되어 있음을 보여 준다. 상온에서 명확히 구분되지 않는 maghematite와 hematite에 의한 면적들과 서로 중첩된 것으로 추정된다[12].

나머지 철 화합물들 olivine, pyroxene 등에 관한 분석 결과는 다음과 같다. 감람석(olivine)의 화학 조성은 연속고용체(continuous solid solution)를 이루며, Mg_2SiO_4에서부터 Fe_2SiO_4까지 다양하다. 이와 같은 olivine에 의한 1개의 2중선 QS1의 isomer shift(*I. S.*) 값이 0.13 mm/s~0.26 mm/s이었으며, 이로부터 olivine 내의 철 원자가 상태는 Fe^{2+}에 의한 것임을 알 수 있다. 또한, quadrupole splitting(*Q. S.*) 값은 0.65 mm/s~1.01 mm/s로 분석되었다. 휘석(pyroxene)에 의한 2중선 QS2는 B~E 시료에서만 보이며, *I. S.* 값은 0.84 mm/s~1.13 mm/s 그리고 *Q. S.* 값은 2.57 mm/s~2.86 mm/s로 나타났으며, 철의 원자가 상태는 Fe^{2+}로 분석되었다[13]. 한편, 휘석(pyroxene)은 규회석(Wollastonite, $CaSiO_3$), 엔스타이트(Enstatite, $Mg_2Si_2O_6$), 페로실라이트의(Ferrosilite, $Fe_2Si_2O_6$) 3성분으로 구성된 고용체로 다양한 화학조성을 나타낸다. 일부 시료 A, F 시료에서는 휘석에 의한 2중선을 찾을 수 없는데, 이것은 이 들 시료에서 휘석은 페로실라이트의 성분이 거의 없는 것으로 짐작할 수 있다. Olivine, pyroxene의 면적 비는 각각 16.17~31.26 %와 8.24~14.43 %이었다.

Hematite와 magnetite로 추정되는 Fe^{3+}에 의한 6중선의 면적 비를 통해 함량을 살펴보면 각각 33.81~57.08 %와 14.74~36.98 %로 분석되고, 이것들을 합한 비율이 Fig. 5에서와 같이 59.70~75.60 %이므로, 이것들이 스코리아 내의 주요 성분임을 알 수 있다. 또한, 이것은 시료의 산화정도를 나타내므로 화산 분출시 마그마의 산화 과정이 급격히 진행되었음을 알 수 있다[14]. 이로부터 대부분의 시료들이 독립적인 분화과정을 통해 육상 분출의 결과로 이루어진 분석구의 스코리아 시료들이며, 초기 마그마 내의 감람석 성분이 산화되어 자철석이나 적철석 그리고 Fe^{3+}의 철 화합물들로 다량 변화된 결과로 해석된다[15].

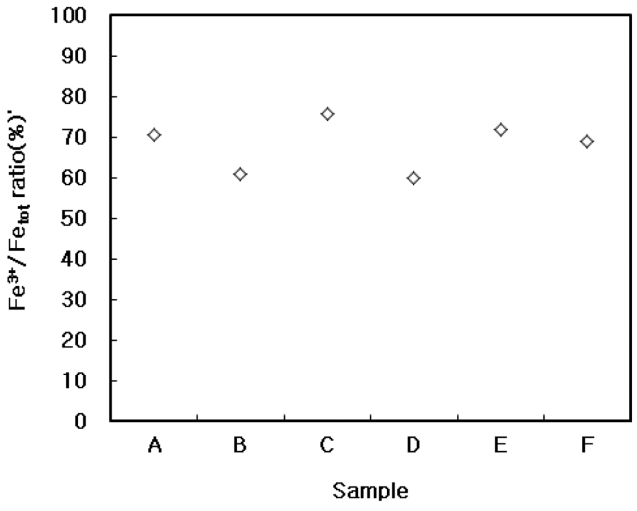

Fig. 5. $Fe^{3+}/Fe_{tot.}$ ratio (%) of the scoria samples at younger cinder cone in Halla Mt. on Jeju island.

IV. 결 론

제주도 한라산 후기 분석구 지역 스코리아 시료들에 대한 물리 화학적 특성을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

스코리아의 구성 광물들은 석영 및 장석계열의 albite 및 anorthoclase가 주 구성 물질이며, 철 화합물로는 olivine, pyroxene, hematite, magnetite 등의 광물이 확인되었으나 점토광물은 확인되지 않았다. 따라서 이곳의 스코리아 시료들 내에는 주로 석영 및 장석과 함께 철 화합물도 다양하게 포함돼 있지만 풍화 변질이 많이 진행되지 않았음을 알 수 있었다. X-선 형광 분석으로부터 SiO_2와 $Na_2O + K_2O$의 함량은 각각 42.74~48.69 wt%, 4.41~5.76 wt%이므로 본 시료들은 테프라이트 바사나이트(tephrite basanlte), 조면현무암(trachybasalt) 그리고 현무암(basalt)의 조성을 보였다. 이들 철 화합물에 대한 Mössbauer 스펙트럼 분석에 의하면 magnetite와 hematite로 추정되는 6중선의 총 면적 비는 59.70~75.60 %로 Fe^{3+} 철 화합물의 주 구성 성분이며, 이외에도 olivine, pyroxene에 의한 Fe^{2+} 철 화합물들이 포함되어 있는 것으로 분석되었다. 또한, 6중선 H1와 H2의 면적비율 H1/H2 값은 0.26~1.08로 분석되었고, 이 값은 2보다 작아 상온에서 명확히 구분되지 않은 magnetite, maghematite와 hematite에 의한 면적들이 서로 중첩되어있음을 알 수 있다.

본 논문 시료들에 있는 Fe^{2+} olivine의 *I. S.*와 *Q. S.* 값은 각각 0.13~0.26 mm/s와 0.65~1.01 mm/s이었고, 기존에 연구된 다른 지역과 차이를 보인다. 따라서 기존에 연구된 한라산 이외의 연구지역과 다른 구조의 Fe^{2+} olivine이 포함된 것으로 추정된다. $Fe^{3+}/Fe_{tot.}$의 값은 59.70~75.60 % 사이의 값을 나타내어 평균 67.84 %로 분석되었으며, 이와 같은 결과들에 의하면 본 시료들은 각각이 독립적인 분화 과정을 통해 형성된 단성화산의 스코리아이며, 기존에 연구된 한라산 이외의 지역과 다른 시기에 형성된 시료들임을 추정할 수 있다.

References

[1] G. W. Koh, J. B. Park, B. R. Kang, G. P. Kim, and D. C. Moon, J. Geol. Soc. Korea **49**, 209 (2013).
[2] S. Yoon, W. H. Hyun, and C. Y. Jung, J. Geol. Soc. Korea **41**,

481 (2005).
[3] K. H. Chi, T. H. Kim, D. H. Jang, and S. S. Lee, Volcano Landform of Korea, Korea Ins. Geoscience and Mineral Resources, Daejeon (2010) pp. 36~50.
[4] D. I. Oh, A Study on Strength Characteristics and CBR, Jeju National University, Jeju (2004) p. 12.
[5] J. D. Ko and I. S. Yoon, J. Korean Magn. Soc. **27**, 234 (2017).
[6] J. G. Stevens, A. Khasanov, J. W. Miller, H. Pollak, and Z. Li, Hyperfine Interact. **117**, 71 (1998).
[7] E. De Grave, S. G. Eeckhout, and C. A. McCammon, Hyperfine Interact. **122**, 21 (1999).
[8] B. D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, Addition-Wesley (1978) pp. 281~292.
[9] R. W. Lemaitre, Igneous Rocks; A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igeneous Rocks, University Press, Cambridge (2002) p. 252.
[10] V. G. Bhide, Mössbauer Effect and Its Application, Tata Mcgraw-Hill, New Deli (1973) pp. 273~274.
[11] C. S. Lee and C. Y. Lee, J. Korean Magn. Soc. **7**, 232 (1997).
[12] S. Steinthorsson, Ö. Helgason, M. B. Madsen, C. B. Koch, M. D. Bentzon, and S. Mørup, Mineral. Mag. **56**, 185 (1992).
[13] Canil and O'Neill, J. Petrol. **37**, 609 (1996).
[14] J. Sitek, K. Sedlačková, and J. Dekan, Analysis of volcano rock from Canary islands, Applied Physics of Condensed Matter of the 19 th International conference, Štrbské Pleso, Slovakia (2013).
[15] A. A. Ariskin and A. A. Yaroshevsky, Geochemistry International **44**, 72 (2006).