

火山岩속의 鐵의 狀態에 관한 뫼스바우어 效果 研究

洪 性 樂

A Study on Mössbauer Effect of Iron State in the Volcanic Rock.

Hong Sung-rak

Summary

The Cheju island is a volcano formed by central eruptions when active volcano occurred. Its shape is an ellipse with the size of $40 \times 80 \text{ km}^2$, and is characterized by a symmetrical form whose peak is Mt. Halla (1950m).

In this study, Mössbauer parameters for the samples of the four regions of Cheju island are measured at the range of 75K to 300K. The major minerals of Cheju volcanic rock samples by the analysis of Mössbauer spectra are olivine, pyroxene and ilmenite.

By the comparison of the analytic results of Cheju volcanic rock samples with those of lunar samples, Cheju volcanic rock had much the same minerals as the lunar samples had. This resemblance of minerals contained in Cheju volcanic rock samples and the lunar samples may be taken as evidence that the moon had previously been a part of the earth. In other words, the fission theory among the three hypotheses about the origin of the moon could be supported.

序 論

제주도는 지각하부나 맨틀(mantle)상부에 있는 암석이 고온고압하에서 용융되어 화산활동에 의하여 지표로 분출된 섬이며, 면적은 $40 \times 80 \text{ km}^2$ 이고 한라산을 중심으로 지각구조가 대칭이며 타원형을

이루고 있다. 제주도에 관한 지질학적, 광물학적 연구는 Nakamura와 Haraguchi등이 최초로 수행하였으며 그후 많은 학자들에 의하여 연구가 이루어졌다(Lee, 1982). 최근에 M. W. Lee는 화학적인 분석법을 이용하여 제주도의 화산암전반에 걸쳐 성분을 상세히 분석한 바 있으며 그 결과로부터 제주도 화산암은 소량의 철을 함유하고 있음을 알 수

理工大學 副教授

있었다(Lee, 1982; 이문원 1984). 물성연구에는 nuclear magnetic resonance(NMR), electron paramagnetic resonance(EPR), nuclear quadrupole resonance(NQR), Raman spectroscopy, Mössbauer spectroscopy 등이(Gonser, 1975) 이용되고 있으며 특히 Mössbauer spectroscopy는 소량의 Mössbauer핵에도 민감한 반응을 나타내므로 지질연구나 광물연구에도 많은 도움을 줄 수 있다. Mössbauer spectroscopy 에 의한 광물연구는 Kistner와 Sunyar(kistner, 1960)가 hematite(α - Fe_2O_3)를 Bauminger 등(Bauminger, 1961)이 magnetite(Fe_3O_4)에 관한 연구를 최초로 수행한 바 있으며, 본격적인 지질학에 대한 Mössbauer spectroscopy의 응용은 De Coster 등(Pollak Coster Amelinckx, 1962; Coster Pollak, Amelinckx, 1963)에 의한 silicate 물질내의 Fe이온에 관한 연구와 Sprenkel-Segel과 Hanna(Sprenkel-Segel, Hanna, 1964)에 의한 운석내의 Fe이온에 관한 연구로부터 시작되었다. 이러한 광물학과 지질학에서의 Mössbauer spectroscopy의 응용은 광물내에 존재하는 철의 원자가 상태를 밝히는데 매우 유용하다. 특히 근래에는 Mössbauer spectroscopy가 달암석 연구에 많이 이용되고 있다(Herzenberg, Toms, 1966). 화학적인 분석법을 이용하여 분석한 달암석의 성분은 달 표면층이 대부분 유리질덩어리로 이루어져 있으며 그외에 plagioclase[(Na, La)(Al, Si) $_4O_8$], pyroxene[(Ca, Mg, Fe) SiO $_3$] ilmenite(Fe, TiO $_3$)와 olivine[(Mg, Fe) $_2$ SiO $_4$]의 광물들이 함유되어 있음을 밝힌바 있다(Gonser, 1975). 또한 Mössbauer spectroscopy를 이용하여 분석한 달암석 성분은 pyroxene, ilmenite 그리고 olivine 등의 광물들을 포함하고 있음을 알 수 있다(Frauenfelder, 1962). 오랫동안 우리들의 관심사가 되어온 달의 생성에 관한 학설(Cadogan, 1983; Kaula, 1977; Dermott, 1978; Ringwood, 1979; Andrews, 1982)로는 달은 지구를 둘러싸고 있는 운석 등과 같은 물질들의 압축으로 생성되었다고 하는 binary planet theory와 태양계 내의 해왕성 근처에서 생성되어 흑성사이클을 운행 도중 에너지 소모로 달의 궤도반경이 점점 줄어들어 현재의 위치에 있다고 하는 capture theory, 그

리고 지구로부터 분리되었다는 fission theory가 있으며, 이중에서 fission theory가 현재까지 가장 유력시 되고 있다(Brush, 1982). 본 연구에서는 fission theory를 뒷받침하기 위하여 제주도의 4개 지역에서 화산암을 채취하고 Mössbauer spectroscopy를 이용하여 화산암에 함유되어 있는 Fe이온에 대한 Mössbauer parameter 값들을 측정하여 이 값들을 달암석의 Mössbauer parameter 값들과 비교하고 또한 화학적으로 분석한 달과 화산암의 성분을 비교하므로써 달의 생성학설중 하나인 fission theory가 타당성을 갖고 있음을 확인하였다.

材料 및 方法

1. 시료제작

본 실험에서 사용한 시료는 Fig.1에 표시한 지역에서 채취한 화산암으로서 등고선으로 볼 때,

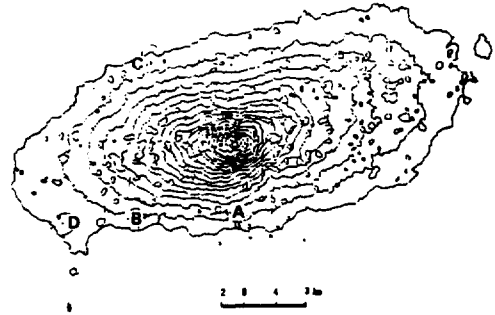


Fig. 1. Sampling locations of Cheju volcanic rock.

시료를 채취한 지역은 A지역이 가장 높고 B,C,D 지역의 순으로 고도가 낮아짐을 알 수 있다. 제주도는 지형에 따라 세부분으로 나누어 해안저지대($\leq 400m$), 한라산체 및 기생화산으로 나눌 수 있다. 따라서 본 실험에서 사용한 화산암의 채취지역은 약간 고도의 차이는 있으나 모두 해안저지대를 이루는 지역에 해당한다. 이러한 지역에서 채취한 화산암의 화학성분은 table 1과 같으며(Lee, 1982) 각 지역의 화산암은 47~51%의 SiO $_2$ 가 함유된 알카리 현무암과 하와이아이트(Hawaiiite)로 구

Table 1. Element of sample A,B,C and D.

ELEMENT	LOCATION			
	A	B	C	D
SiO ₂	50.86	49.09	47.02	48.41
TiO ₂	2.50	3.51	2.79	2.27
Al ₂ O ₃	14.96	15.86	17.06	14.49
Fe ₂ O ₃	2.86	4.39	1.10	1.84
FeO	9.48	8.60	9.86	8.76
MnO	0.16	0.19	0.16	0.17
MgO	4.05	4.09	8.59	9.61
CaO	9.08	7.63	8.67	9.44
Na ₂ O	4.15	3.92	3.03	3.10
K ₂ O	1.26	1.58	1.23	1.43
H ₂ O ⁻	0.46	0.23	0.11	0.11
H ₂ O ⁺	0.09	0.13	0.30	0.10
P ₂ O ₅	0.64	0.44	0.27	0.47

성되어 있음을 알 수 있다. 특히 제주도의 해안저지대를 형성하는 지역의 화산암 구성광물로는 olivine(감람석)과 pyroxene(휘석)이 주성분을 이루며, 불투명 광물 ilmenite가 포함되어 있다. Olivine은 중요한 조암규산염 광물로서 화학조성은 (Mg, Fe)₂SiO₄이고 Mg가 많은 것은 고토감람석(forsterite)이라 하며, Fe가 많이 포함되어 있는 것을 철감람석(fayalite)이라 부른다. pyroxene은 조암규산염 광물의 일종으로 화학조성은 M₂^{II}(SiO₃)₂로 표현되며, 여기서 M^{II}는 Fe^{II}, Mg, Ca이다. 그리고 대부분의 화산암에 함유되어 있는 ilmenite의 화학조성은 FeTiO₃이며, Fe대신 Mg가 함유되는 경우도 있다. 따라서 본 실험에서는 Fe성분이 함유되어 있는, olivine, pyroxene, 그리고 ilmenite에 대한 Mössbauer 공명흡수선을 조사하기 위하여 각 지역에서 공기와 접촉이 적은 화산암을 채취한 후 분쇄하여 고운분말(φ≒0.03~0.05mm)로 만들어 시료로 사용하였다. 이때 각 시료는 Fe양이 10mg/cm²가 되도록 평량하여 설탕과 혼합한 후 직경 2cm의 pallet로 만든다음 시료의 산화와 수분의 침입을 막기 위하여 스키치 테이프로 봉하여 사용하였다.

2. 실험장치

본 실험에서 사용한 Mössbauer spectrometer는 Austin사의 등가속도형(S-600)으로서 전기 역학적인 drive system을 사용하였다. 또한 이 spectrometer는 Motorola 6800 computer로 제어되며 그 개략도는 Fig.2과 같다. Motorola 6800 computer

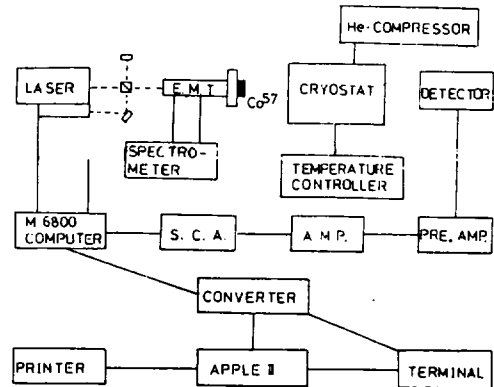


Fig. 2. Block diagram of Mössbauer spectrometer.

에 의해 제어된 spectrometer는 drive motor를 구동시켜 원하는 속도로 등가속도 왕복운동시키며, 이때 drive motor의 진동자 끝에 부착된 γ 선원은 Doppler 효과에 의하여 $\Delta E = I \frac{V}{C} E_r$ 의 에너지를 얻게된다. 이 Doppler 에너지가 가감된 γ 선은 흡수체를 투과하여 검출기에 들어와 전기적 신호로 바뀐다. 검출기는 Xe-CO₂ 혼합기체를 사용한 비례수기로서 180V의 전위를 부가하였다. 이러한 전기적 신호는 preamplifier에 의해 증폭되어 single channel analyzer에서 14.4KeV에 해당하는 energy만을 통과시켜 Motorola 6800 computer의 각 channel에 대응하는 속도의 계수로 측정된다. 실험에 사용한 γ 선원은 rhodium에 dope된 5mCi Co⁵⁷이었으며, Co⁵⁷의 붕괴에 의한 에너지 천이과정은 Fig.3과 같으며 여기서 14.4KeV의 천이 에너지를 Mössbauer spectrum측정용 γ 선원으로 사용한다. γ 선원의 Doppler 속도는 helium-neon레이저를 광원으로 하는 Michelson 간섭계를

사용하여 Fe에 대한 상대속도를 정밀하게 측정할 수 있다. 따라서 흡수체를 통과한 γ 선 에너지와 γ 선원의 Doppler 속도는 동시에 측정되어 Motorola 6800 computer의 70~1024channel에 누적된다. 본 실험에서는 Motorola 6800 computer에 Apple II computer를 연결시켜 누적된 자료는 Apple II computer로 이송시킬 수 있도록 하였다. 저온장치는 Air Products사의 helium compress와 cryostat를 사용하였으며 온도조절은 같은 회사제품인 digital temperature controller(APD-F)를 사용하였다.

3. 실험방법

본 실험에서는 γ 선원과 검출기 사이를 120mm로 하고 약 24시간 동안 공명흡수선을 측정하여 계수가 4×10^5 까지 되도록 하였다. 실험은 먼저 ± 10 mm/sec의 Doppler 속도에서 시료에 존재하는 모든 흡수선을 확인한 후 Doppler 속도를 ± 5 mm/sec로 감소시켜 관측된 흡수선을 세밀히 측정하였다. 또한 시료 C에 대한 저온실험을 수행하기 위해서 시료를 cryostat내의 구리로 된 sample holder에 부착한 후 rotary pump와 diffusion pump를 사용하여 시료 냉각부와 cryostat 외부 사이를 배기하여 10^{-4} torr의 진공도를 유지한 후 helium compressor를 가동시켜 시료를 냉각시켰다. 저온

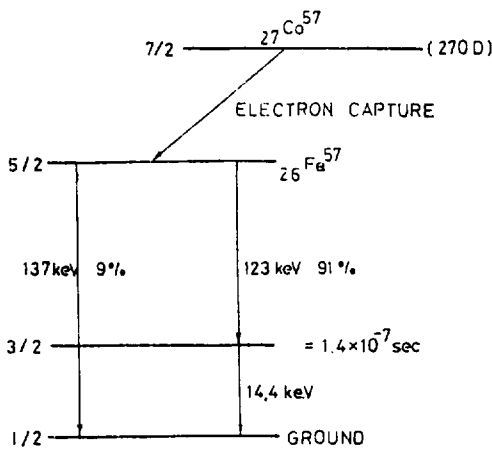


Fig. 3. The decay of Co^{57} to stable Fe^{57}

실험은 상온에서 75K까지 수행하였으며(300K, 250K, 200K, 150K, 100K, 75K) 각 측정온도에서 24시간 동안 공명흡수선을 측정하였다. 여기서 측정온도의 구간을 50K로 하였으나, 50K의 온도에서는 실험장치상의 문제점(detect시간이 짧아짐) 때문에 공명흡수선의 측정이 어려워져서 75K에서 실험을 수행하였다. 이때 각 측정온도는 ± 1 K의 오차 범위내에서 digital temperature를 사용하여 유지하였으며, 측정이 끝난 후 Motorola 6800 computer에 누적된 자료들을 converter를 통하여 Apple II computer로 이송시켜 미니 플로피디스크에 수록하여 보관 및 분석하였다.

結 果

1. Mössbauer Spectrum

제주도 각 지역의 화산암에 대한 상온에서의 Mössbauer 스펙트럼의 대표적인 그림은 Fig.4과 같다. 스펙트럼에 나타나는 흡수선은 시료채취지역에 관계없이 모두 3쌍의 quadrupole splitting이 중첩되어 있는 형태이다. 이러한 Mössbauer 스펙트럼은 C. L. Herzberg(Herzenberg, 1970)가 조사한 화성암의 Mössbauer 스펙트럼인 Fig.5와 동일한 형태임을 알 수 있다. 따라서 제주도 화산암의 구성광물을 고려하면 각각의 quadrupole splitting을 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite에 의한 것으로 분석할 수 있다. 또한 각 지역에 따라 나타나는 공명흡수선은 거의 같으므로 본 연구에서는 시료 C만을 상온에서 75K까지 온도를 변화시키면서 Mössbauer 스펙트럼을 조사하였다. 그러나 온도의 변화에 따른 Mössbauer 스펙트럼도 3쌍의 quadrupole splitting이 중첩되어 있는 것으로 나타났다. 각각의 Mössbauer 스펙트럼을 Apple II computer를 사용하여 Lorentzian line shape식에 맞추어 최소자승법으로 계산하여 isomer shift, quadrupole splitting 및 공명흡수면적을 구하였다. 이때 사용한 Lorentzian line shape 식은

$$I(E) = \sum_{i=1}^n I_i \frac{\left(\frac{\Gamma_i}{2}\right)^2}{(E-E_i)^2 + \left(\frac{\Gamma_i}{2}\right)^2}$$

이며, 여기서 I_i 는 흡수선의 세기, E_i 는 공명흡수 에너지, 그리고 Γ_i 는 흡수선폭이다. 계산된 E_i , I_i , Γ_i 의 값을

$$I.S. = \frac{E_1 + E_2}{2} \quad Q.S. = E_2 - E_1 ,$$

$$A = \frac{\pi}{2} I_i \Gamma_i$$

의 식에 대입하여 isomer shift, quadrupole splitting 및 공명흡수면적을 구하여 각 지역에 따른 값들을 table 2에 나타내었으며 시료 C에 대한 각 parameter의 온도에 따른 값들은 table 3에 나타내었다.

2. Isomer Shift

각 지역의 화산암에 함유된 olivine, pyroxene, 그리고 ilmenite에 대한 isomer shift값은 table 2에 보인 바와 같다. 여기서 olivine의 경우 1.135~1.145(mm/sec), pyroxene은 1.115~1.141(mm/sec), 그리고 ilmenite는 1.03~1.122(mm/sec)의 값을 가지며, 시료채취지역에 따른 isomer shift값의 변화는 Fig.6에 보인바와 같이 특별한 변화가 없는 것으로 볼 수 있다. 특히 이러한 isomer shift값은 Fe^{2+} 이온의 isomer shift값의 범위내에 있음을 알 수 있다(Walker, Werthein, Jaccarine, 1976). 시료 C의 olivine, pyroxene, 그리고 ilmenite에 대한 isomer shift값의 온도의존성은 Fig.7에 보인 바와 같이 저온으로 감에 따라 증가함을 알 수 있다.

3. Quadrupole Splitting

화산암에 함유된 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite의 지역에 따른 quadrupole splitting값은 table 2에 보인바와 같이 olivine의 경우 2.842~2.902(mm/sec), pyroxene은 1.970~2.034(mm/sec) 그리고 ilmenite는 0.657~0.795(mm/sec)의 값을 갖는다. 또한 시료채취 지역에 따른 각 광물의 quadrupole splitting값의 분포는 Fig.8에 보인바와 같다. 여기서 olivine과 pyroxene은 지역에 따라

큰 변화가 없으나 ilmenite의 경우는 A지역에서 D지역으로 감에 따라 다소 감소하는 형태를 보인다. 시료 C의 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite에 대한 quadrupole splitting값의 온도의존성은 Fig.9에 나타내었다. 여기서 각 광물의 quadrupole splitting값은 저온으로 감에 따라 증가함을 볼 수 있다.

4. 공명흡수면적

Mössbauer 스펙트럼의 공명흡수면적은 시료에 함유되어 있는 Fe의 양과 관계가 있다. 따라서 각 지역의 화산암에 존재하는 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite의 공명흡수면적을 계산하면 각각의 구성광물에 함유되어 있는 Fe양을 비교할 수 있다. table 2에 보인바와 같이 공명흡수면적은 주로 olivine과 pyroxene에 의한 것으로 볼 수 있다. 이것은 화산암에 함유되어 있는 Fe가 주로 olivine과 pyroxene에 포함되어 있음을 나타낸다. 또한 총흡수면적과 각 성분 암석의 흡수면적의 비율 Fig.10에 보인 것처럼 지역에 따라 나타내었다. 여기서 총흡수면적중 olivine의 흡수면적이 차지하는 비율은 A지역에서 D지역으로 감에 따라 감소함을 볼 수 있으며 pyroxene의 흡수면적이 차지하는 비율은 반대로 A지역에서 D지역으로 감에 따라 증가함을 알 수 있다. 그러나 ilmenite의 흡수면적이 차지하는 비율은 그렇게 크지도 않으며 지역에 따른 변화도 뚜렷하게 나타나지 않았다. 일반적으로 공명흡수 면적은 저온으로 감에 따라 일정한 율로 증가하지만 본 실험에서는 시료 C에 대한 각 온도에서의 흡수면적을 계산해 본 결과 흡수면적의 온도의존성은 찾지 못했다.

考 察

1. Mössbauer Spectrum

제주도 각 지역에서 채취한 화산암은 7.3~8.3%의 Fe를 함유하고 있다. 실제 화성암을 이루는 광물로는 조암광물인 quartz, pyroxene, olivine, feldspar와 소량의 magnetite, hematite 그리고 apatite

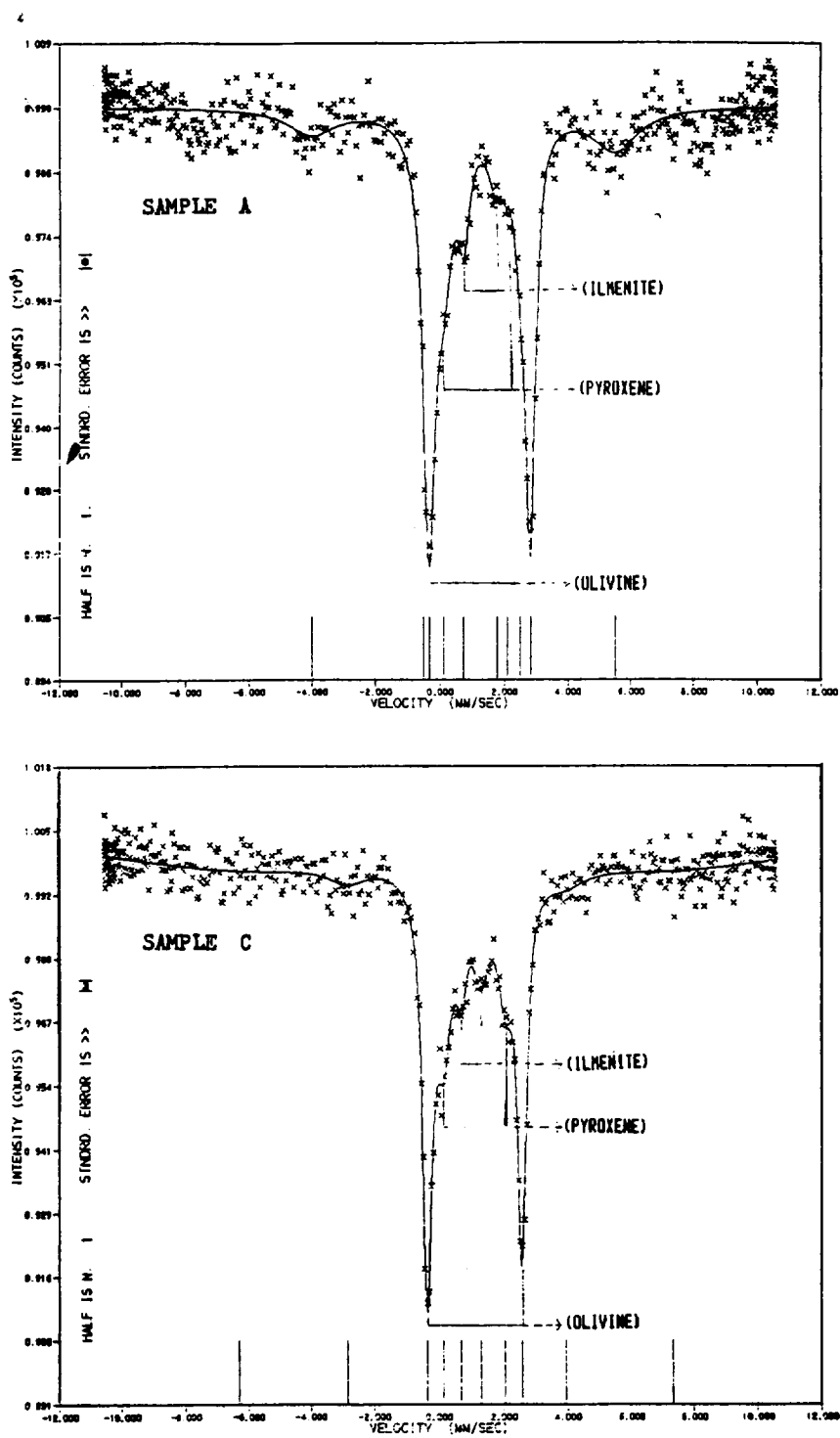
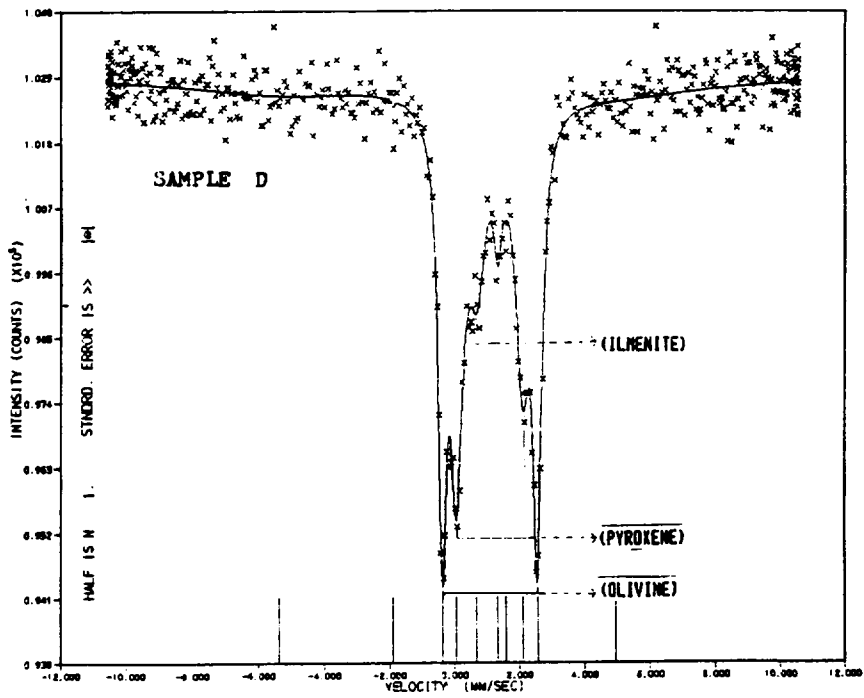
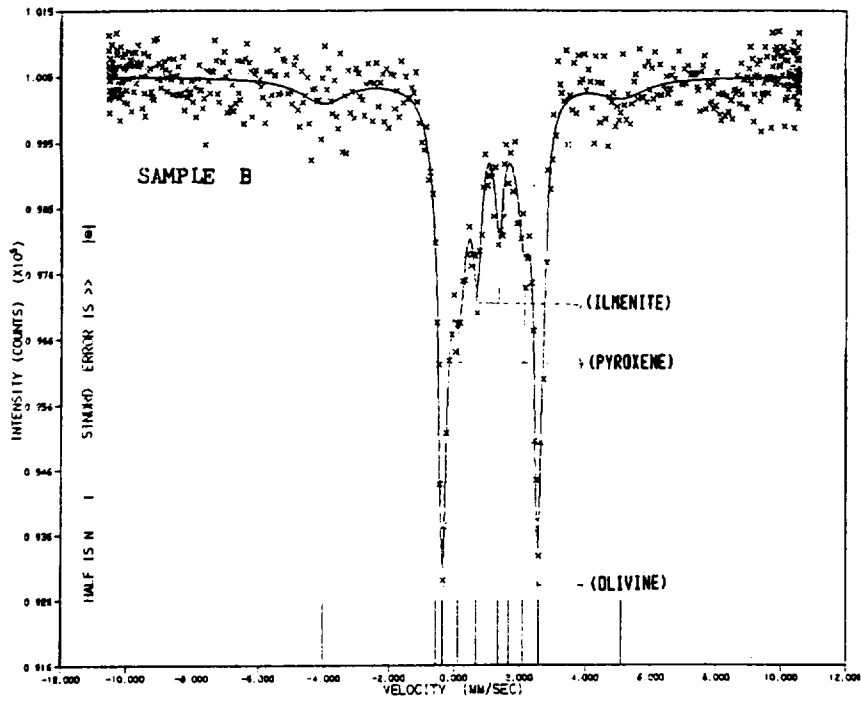


Fig. 4 Mössbauer spectra of sample A,B,C and D at room temperature.



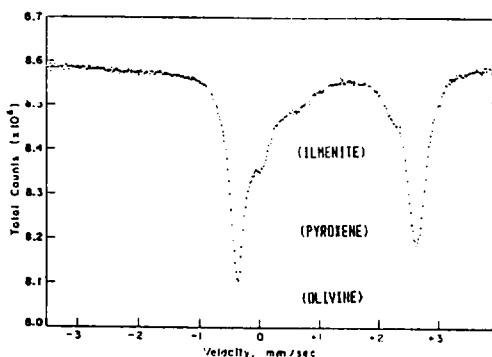


Fig. 5. Mössbauer spectrum of USGS peridotite (Herzenberg, 1970).

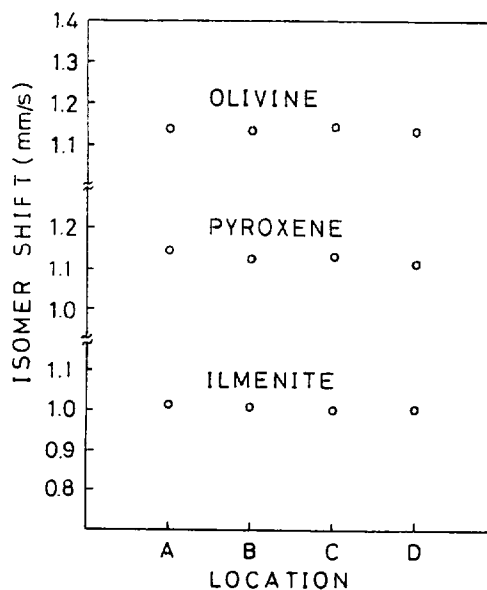


Fig. 6. Isomer shift vs. sampling location for three minerals.

Table 2. Mössbauer parameters of sample A,B,C and D at room temperature.

SAMPLE	MINERAL	ISOMER SHIFT(mm/s)	QUADRUPOLE SPLITTING(mm/s)	ABSORPTION AREA
A	OLIVINE	1.145	2.842	1.167
	PYROXENE	1.141	1.994	0.390
	ILMENITE	1.108	0.795	0.088
B	OLIVINE	1.138	2.894	1.406
	PYROXENE	1.128	1.970	0.805
	ILMENITE	1.122	0.721	0.324
C	OLIVINE	1.145	2.902	2.646
	PYROXENE	1.134	2.034	1.477
	ILMENITE	1.025	0.686	0.681
D	OLIVINE	1.135	2.887	1.513
	PYROXENE	1.115	1.978	1.579
	ILMENITE	1.046	0.657	0.431

Table 3. Mössbauer parameters os sample C at several temperature.

TEMPERATURE (K)	MINERAL	ISOMER SHIFT(mm/s)	QUADRUPOLE SPLITTING(mm/s)	ABSORPTION AREA
300	OLIVINE	1.145	2.902	2.646
	PYROXENE	1.134	2.034	1.477
	ILMENITE	1.025	0.686	0.681
250	OLIVINE	1.171	2.966	2.671
	PYROXENE	1.159	2.047	1.088
	ILMENITE	1.070	0.722	0.555
200	OLIVINE	1.190	3.011	2.865
	PYROXENE	1.178	2.070	1.001
	ILMENITE	1.118	0.779	0.531
150	OLIVINE	1.205	3.025	2.676
	PYROXENE	1.291	2.084	0.821
	ILMENITE	1.145	0.806	0.583
100	OLIVINE	1.217	3.044	0.642
	PYROXENE	1.200	2.093	0.867
	ILMENITE	1.168	0.828	0.463
75	OLIVINE	1.220	3.041	2.475
	PYROXENE	1.207	2.099	0.620
	ILMENITE	1.171	0.854	0.422

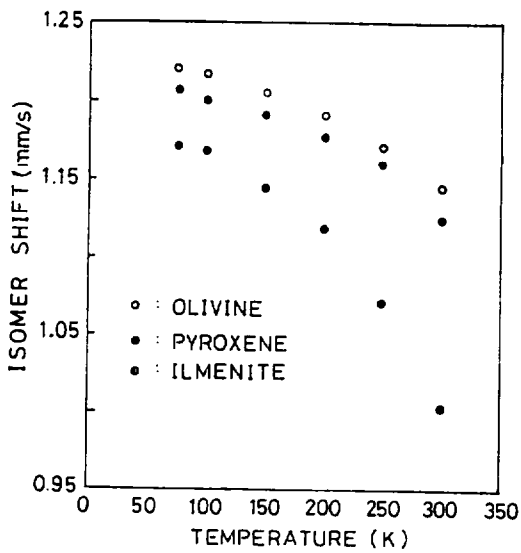


Fig. 7. Temperature dependence of isomer shift for three minerals.

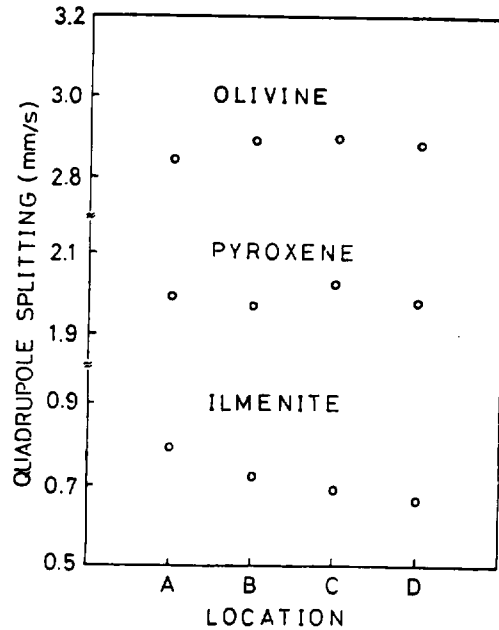


Fig. 8. Quadrupole splittings vs. sampling location for three minerals.

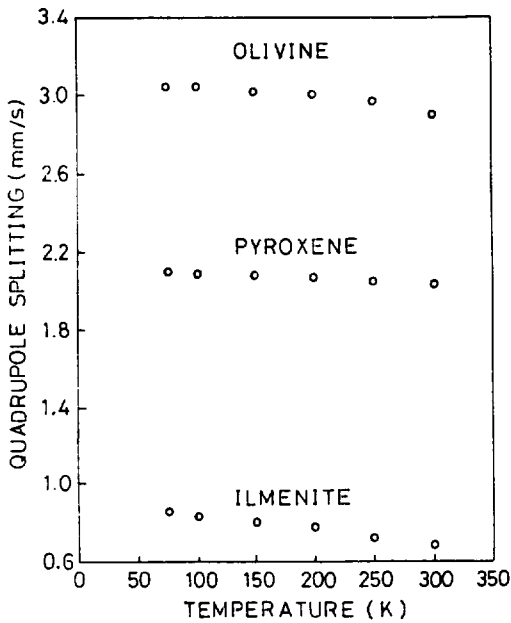


Fig. 9. Temperature dependence of quadrupole splitting for three minerals.

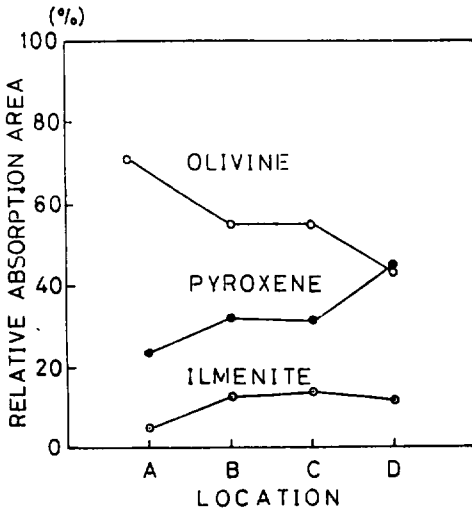


Fig. 10. Relative absorption areas of three minerals vs. sampling location.

로 되어 있다. 제주도 화산암은 olivine, pyroxene, feldspar가 주된 광물이며, magnetite, apatite 그리고 ilmenite가 소량 함유되어 있다. 그러나 본 연구에서 측정된 Mössbauer 스펙트럼은 Fe_2O_3 에 의한 hyperfine splitting은 A, B 지역에서 약간 나타나지만 주로 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite에 의한 흡수선으로 해석할 수 있었다. 이러한 제주도 화산암의 Mössbauer 스펙트럼은 C. L. Herzenberg(Herzenberg, 1970)가 화성암에 포함되어 있는 광물중 5.97%의 철을 함유한 peridotite에 대해 조사한 Mössbauer 스펙트럼과 동일한 형태로 나타남을 알 수 있었으며 이것은 본 연구에서 얻은 화산암의 공명흡수선에 관한 해석이 타당성이 있다고 볼 수 있다. 특히 제주도 화산암을 채취한 지역이 해안지대이므로 측정결과에 나타난 Mössbauer 스펙트럼들은 서로 비슷한 모양을 나타냈으며 이 지역들에서 sampling한 화산암의 Mössbauer 스펙트럼들은 달암석의 Mössbauer 스펙트럼(Herzenberg, Riley, 1971; Bancroft, 1973)들과 유사한 모양을 갖고 있는 점으로 보아, 제주도 화산암과 달암석의 구성광물이 거의 같은 것으로 해석할 수 있다.

2. Isomer Shift

제주도 각 지역별 화산암에 포함된 광물인 olivine, pyroxene, 그리고 ilmenite의 isomer shift는 거의 같은 값을 가진다. 이 사실은 isomer shift가 주로 S-전자 밀도의 영향을 크게 받는다는 점을 고려하면, 각 지역에서의 화산암에 함유된 광물이 거의 동일한 화학구조를 갖고 있음을 의미한다. 제주도 화산암에 포함된 각 광물의 isomer shift 값으로부터 광물에 존재하는 Fe는 거의 Fe^{2+} 이온으로 존재하고 있음을 알 수 있는데 그 이유는 공기와 비교적 접촉이 적은 화산암 시료를 사용했기 때문으로 생각된다. 이 사실은 공기가 없는 달의 암석에 함유되어 있는 Fe가 거의 Fe^{2+} 이온으로 존재한다는 점과 잘 일치하고 있다. 또한 제주도 화산암에 들어있는 광물인 pyroxene의 isomer shift 값은 상온에서 1.115~1.141mm/sec이고 달암석은 1.14 ~1.17mm/sec(Hafner, Janik, Virgo, 1971)

로써 거의 같은 값을 가지며 ilmenite의 isomer shift값은 제주도 화산암이 1,030~1,122mm/sec이고 달암석은 1.07mm/sec(Hafner, Janik, Virgo, 1971)로서 잘 일치함을 알 수 있다. 그런데 olivine의 isomer shift값은 달암석의 값이 알려져 있지 않기 때문에 비교할 수 없었다. G.P. Huffman (Huffman, 1971) 등이 달암석의 isomer shift값의 온도의존성을 조사한 바에 의하면 저온으로 감에 따라 각 광물의 isomer shift값이 증가함을 밝힌 바 있다. 이러한 isomer shift의 온도의존성은 모든 광물이 저온으로 감에 따라 증가하게 되는데 이것은 second order Doppler shift에 의한 영향으로 해석된다(Josephson, 1960). 즉 isomer shift 값은 온도의존성이 없는 항과 열적 에너지에 의한 영향을 많이 받는 second order Doppler shift항으로 표현되는데 여기서 온도가 낮아짐에 따라 열에너지가 감소하게 되어 second order Doppler shift항이 감소하기 때문이다.

3. Quadrupole Splitting

제주도 화산암의 구성광물인 olivine과 pyroxene의 quadrupole splitting값은 지역에 따른 변화가 거의 없다. 그러나 ilmenite의 경우 A지역에서 D지역으로 감에 따라 다소 감소하는 현상을 나타내지만 이것이 어떤 지역상의 의존성이 있다고 볼 수는 없다. 이러한 quadrupole splitting 값은 Fe^{57} 핵 주위의 전기장 기울기에 의한 영향이 크게 작용하게 되며, 이 전기장 기울기는 핵 주위의 전하나 이온 분포에 많은 영향을 받게 된다(May, 1971). 따라서 제주도 화산암의 채취지역에 따른 quadrupole splitting 값의 변화가 거의 없다는 것은 각 구성광물의 화학조성이 거의 동일하게 이루어져 있다고 볼 수 있다. isomer shift의 경우와 마찬가지로 pyroxene의 quadrupole splitting값은 제주도 화산암이 상온에서 1.970~2.034mm/sec이고 달암석의 경우는 1.87~2.72mm/sec(Hafner, Janik, Virgo, 1971)이다. 또한 ilmenite의 quadrupole splitting값은 제주도 화산암이 0.657~0.795mm/sec이고, 달암석은 0.68~0.71mm/sec(Hafner, Janik, Virgo, 1971)이므로 제주도 화산암의 quadrupole

splitting값과 달암석의 quadrupole splitting값이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 olivine의 quadrupole splitting값은 달암석의 값이 없기 때문에 비교할 수 없었다. 각 광물의 quadrupole splitting값은 저온으로 감에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 그 이유는 quadrupole splitting 값이 $\propto e^2qQ$ 으로 표시된다. 여기서 최대전기장 기울기 eq 가 커지는 데 기인한다. 다시말해서 최대전기장 기울기는 Fe^{57} 동위핵의 가전자에 의한 가전자기여분과 Fe^{57} 핵 이외의 전하들에 의한 격자기여분으로 이루어져 있으며, Fe^{2+} 이온의 경우, 최대전기장 기울기는 온도가 감소함에 따라 증가하기 때문에 저온으로 갈수록 quadrupole splitting 값이 증가하게 된다(육향남, 1983). 달암석에 포함된 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite의 quadrupole splitting값도 isomer shift값과 같이 저온으로 갈수록 증가하며, 이것은 제주도 화산암과 달암석에 함유되어 있는 Fe가 주로 Fe^{2+} 이온으로 이루어져 있음을 보여준다.

4. 공명흡수면적

제주도 화산암에 관한 Mössbauer 스펙트럼의 공명흡수면적은 지역에 따라 다소의 차이는 있으나 주로 olivine과 pyroxene에 의한 공명흡수면적이 olivine, pyroxene, 그리고 ilmenite의 흡수면적의 85~95%를 차지한다. 이러한 공명흡수 면적은 Fe의 양과 관계가 있다(Hafner, 1975). 따라서 제주도 화산암의 구성광물에 함유되어 있는 Fe의 총량중 85~95% 정도가 주로 olivine과 pyroxene에 함유되어 있다고 볼 수 있다. 또한 지역에 따라 각 광물에 함유되어 있는 Fe양의 비율은 olivine의 경우는 A지역에서 D지역으로 갈수록 감소하며 pyroxene은 반대로 A지역에서 D지역으로 감에 따라 증가한다. 이러한 현상은 등고선의 A지역이 D지역보다 높고 B, C지역은 거의 비슷한 높이로써 A와 D의 중간고도이다. 그래서 높은 지역의 olivine은 철을 다량 포함한 fayalite가 많이 존재하며 반면에 낮은 지역에서는 Mg를 다량 포함한 forsterite가 많이 존재하는 것으로 해석할 수 있다. 그리고 pyroxene은 낮은 지역의 경우가 더 많은

Fe를 포함한 화학구조를 갖는다고 볼 수 있다. 달암석의 경우는 함유되어 있는 Fe의 총량중 73% 정도가 silicate 화합물에 함유되어 있고 19% 정도가 ilmenite에 함유되어 있으며, 나머지 Fe는 다른 형태인 Fe, FeS 등으로 존재한다(Herzenberg, Riley, 1971). 따라서 제주도 화산암의 olivine이나 pyroxene이 silicate 화합물에 해당하므로 Fe의 분포는 달암석의 경우와 비슷하다고 볼 수 있다.

5. 달의 생성설

달의 생성원인은 3가지 학설 1) binary planet theory 2) fission theory 3) capture theory로 논의되고 있다. 그러나 Apollo 우주선이 달암석을 채취해 옴으로써 달암석에 관한 직접적인 연구가 활발히 이루어져 왔다. 특히 M. J. Drake(1983)는 달암석과 지구각하부에 있는 맨틀의 화학성분이 동일한 점을 들어 달의 3가지 생성설중에서 fission theory의 타당성을 주장했다. 본 연구에서는 제주도 화산암의 Mössbauer 스펙트럼과 비교한 결과 제주도 화산암과 달암석이 거의 유사한 광물로 구성되어 있음을 확인하였다. 이러한 사실은 달의 생성설중의 하나인 fission theory의 타당성을 뒷받침할 수 있는 좋은 자료가 될 수 있다.

된 제주도 화산암과 달암석의 Mössbauer 스펙트럼을 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 제주도 화산암의 Mössbauer 스펙트럼은 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite에 의한 세쌍의 quadrupole splitting을 동시에 나타내며 이것은 달암석의 Mössbauer 스펙트럼과 거의 일치하는 점으로 보아 제주도 화산암과 달암석의 구성광물이 거의 같음을 알 수 있다.
2. 비교적 공기와 접해있지 않은 제주도 화산암과 달암석에 포함된 철은 거의 Fe^{2+} 상태로 존재한다.
3. 제주도 화산암과 달암석에 포함된 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite의 isomer shift와 quadrupole splitting 값은 서로 유사함을 알았다.
4. 제주도 화산암에 관한 Mössbauer 스펙트럼의 공명흡수 면적의 대부분이 olivine과 pyroxene에 기인한다는 것은 달암석에 함유되어 있는 대부분의 철이 olivine과 pyroxene에 함유되어 있다는 사실과 잘 일치한다.
5. 제주도 화산암에 포함된 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite의 Mössbauer parameters 값과 달암석에 포함된 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite의 Mössbauer parameters 값이 거의 일치하므로, 달의 생성설을 fission theory로 추정된다.

摘 要

본 연구에서는 제주도의 4개 지역에서 채취한 화산암의 Mössbauer 스펙트럼을 측정하여 화산암을 구성하는 광물인 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite내의 철이온의 물성을 조사하였다. 조사

謝 辭

본인은 1985년도 국비해외파견 연구교수로 선발되어 미국 Purdue University에서 일년간 교환교수로 근무하는 동안 본 연구를 물심양면으로 지원해 주신 J. G. Mullen 교수께 감사드립니다.

參 考 文 獻

- Andrews D. J., 1982. *Geophys. Res. Lett.*, 9, 1259.
- Bancroft G. M., 1973. *Mössbauer Spectroscopy*, 234, John Wiley and Sons New York.
- Bauminger R., et al., 1961. *Phys. Rev.*, 122, 1447.
- Brush S. G., 1982. *Science*, 217, 891.
- Cadogan P., *Mercury*, 1983. March-April, 34.

- De Coster M., Pollak H. and Amelinckx S., 1963. *Phys. status solidi*, 3, 283.
- Dermott S. F., 1978. *The origin of the Solar System*, 598, 641, John Wiley and Sons, Chichester, New York Brisbane, Toronto.
- Drake M. J., 1983. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 4, 1759.
- Frauenfelder H., 1962. *The Mössbauer Effect*, 45~46, W. A. Benjamin Inc. New York.
- Gonser U., 1975. *Mössbauer spectroscopy*, 172, springer-verlag Berlin Heidelberg New York.
- Gonser U., 1975. *Topics in applied physics Vol. 5*, Gonser U., ed., springer-verlag Berlin Heidelberg New York.
- Hafner S., Janik B. and Virgo D., 1971. in *Mössbauer Effect Methodology*, Vol. 6, Gruverman I. J., ed., Plenum Press, New York.
- Hafner S. S., 1975. in *Mössbauer Spectroscopy*, Gonser U. ed., Springer-Verag Berlin Heidelberg New York.
- Herzenberg C. L. and Tams D., 1966. *J. Geophys. Res.*, 71, 2661~2667.
- Herzenberg C. L., 1970. in *Mössbauer Effect Methodology*, Vol. 5. Gruverman I. J. ed., Plenum Press, New York.
- Herzenberg C. L. and Riley D. L., 1971. in *Mössbauer Effect Methodology*, Vol. 6. Gruverman I. J. ed., Plenum Press, New York.
- Herzenberg C. L. and Riley D. L., 1971. *Phys. Earth Planet. Interiors*, 4, 204.
- Huffman G. P. et al, 1971. in *Mössbauer Effect Methodology*, Vol. 6, Gruverman I. J., ed., Plenum Press, New York.
- Joksephson B. D., 1960. *Phys. Rev. Lett.*, 4, 341.
- Kaula W. M., 1977. *proc. Lunar Sci. Conf.*, 8th, 321.
- Kistnar O. C. and Sunyar A. W. 1960. *Phys. Rev. Lett.*, 4, 412.
- Lee M. W., 1982. *Science Reports of the Tohoku University series II*, 15, 177.
- 이문원, 손인석, 1984. *제주도는 어떻게 만들어진 섬일까*, 57~61, 도서출판춘광.
- May L., 1971. *An Introduction to Mössbauer Spectroscopy*, 75, Plenum Press, New York-London.
- 옥항남, 1983. *뫼스바우어 분광학*, 49, 민음사, 서울.
- Pollak H., De Coster M. and Amelinckx S., 1962. *Phys. status solidi*, 2, 1653.
- Ringwood A. E., 1979. *Origin of the Earth and Moon*, 83, 229, springerverlag, Heidelberg Berlin, New York
- Sprenkel-Segel E. L., Hanna S. S., 1964. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 28. 1913.
- Walker L. R., Wertheim G. K. and Jaccarino V., 1961. *Phys. Rev. Lett.*, 6, 98.