

碩士學位 請求論文

설섬, 문섬, 범섬의 화산암에 대한
되스바우어 효과 연구

指導教授 洪 性 樂



濟州大學校 教育大學院


物理教育 專攻

玄 永 美

1987年度

설섬, 문섬, 범섬의 화산암에 대한
되스바우어 효과 연구

이를 教育學 碩士學位 論文으로 提出함

 제주대학교 중앙도서관
濟州大學校 教育大學院 物理教育專攻

提出者 玄 永 美

指導教授 洪 性 樂

1987年 12月 日

玄永美의 碩士學位 論文을 認准 함

濟州大學校 教育大學院

主 審 인

 제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

副 審 인

副 審 인

1987年 12月 日

목 차

I. 서 론	1
II. 이 론	2
1. Mössbauer effect	2
2. Isomer shift	3
3. Quadrupole splitting	5
4. 제주도의 형성과정	10
III. 실 험	12
1. 시료제작	12
2. 실험장치	13
3. 실험방법	14
IV. 결 과	16
1. Mössbauer spectrum	16
2. Isomer shift 와 Quadrupole splitting	20
V. 논 의	22
1. Mössbauer spectrum	22
2. Isomer shift	22
3. Quadrupole splitting	22
4. 공명흡수면적	23
VI. 결 론	24
Abstract	25
참고문헌	26

I. 서 론

제주도는 지형 및 지질학적 특징에 의해서 크게 세부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 해안저지대의 편평한 지형(해발 400 m 이하의 지역), 둘째는 섬의 중심부근에 위치한 한라산 덩어리, 셋째는 섬의 여기저기에 산재되어 분포하는 기생화산이다.^{1,2)} 이와같은 지형적인 특징은 제주도를 형성한 화산활동과 밀접한 관계를 갖고 있으며 그 활동은 크게 용암지대 형성단계, 한라산체 형성단계, 기생화산 형성단계로 구분할 수 있다.

위의 각 단계는 만들어진 시기와 만들어진 물질이 각각 다르다. 그러나 제주도 화산암은 전반적으로 알카리암 중에서 Na 계열에 속하며, Fe를 포함한 주요 구성 광물로는 olivine($(\text{Mg Fe})_2 \text{SiO}_4$) pyroxene ($(\text{Ca, Mg, Fe})_2(\text{SiO}_3)_2$), 그리고 약간의 ilmenite(FeTiO_3)이며 제주도의 화산암은 소량의 철을 함유하고 있음을 알 수 있었다.³⁾

본 연구에서는 제주도 부속도서인 서귀포 앞바다에 위치한 3개섬(섬섬, 문섬, 범섬)에서 화산암을 채취하여 상온에서 그 화산암 속에 들어 있는 철원자의 전기적 및 자기적 물성을 연구하였고 연구된 값으로 부터 제주도 화산암과 부속도서 화산암의 구성성분을 비교하였다.

물질의 물성연구에는 NMR, EPR, NQR, ESCA, Mössbauer spectroscopy 등 여러가지 방법이 이용되고 있으며 본 연구에서는 1958년 Mössbauer 에 의해 발견된 Mössbauer spectroscopy^{4,5)}를 이용하였다. 이 방법은 오늘날 물리학 화학, 생물학, 금속학, 지질학 그리고 천문학등 여러분야에서 가장 중요한 연구 방법중의 하나가 되고 있다.^{6,7)} 이 방법을 통하여 화산암속에 포함된 Fe 원자핵과 s 전자와의 상호작용으로 생기는 철원자핵의 에너지 준위의 shift 즉 isomer shift, 철원자핵의 전기사중극자능률(quadrupole moment)과 주위 전자들의 전기장 기울기와의 상호작용으로 일어나는 quadrupole splitting 그리고 공명흡수면적을 조사하였다. 이를 위하여서 Lorentzian profile 을 최소자승법을 이용한 computer program 을 사용하여 실험에서 얻어낸 Mössbauer spectrum 을 computer 로 분석하여 최적치의 Mössbauer parameter 들을 구하였다.

II. 이 론

I. Mössbauer effect

원자핵이 자유로운 상태에서 들뜬상태가 바닥상태보다 에너지가 E_0 만큼 높다고 하면 이 두상태사이에서 γ 선을 방출하거나 흡수하는 경우엔 되튐(recoil)을 받게 된다.

핵의 들뜬상태에서 바닥상태로 천이할때 방출되는 γ 선의 에너지를 $\hbar\omega$, 핵의 되튐운동량을 P_R 라 하면, 운동량보존법칙에 의해 $P_R = \hbar\omega/c$ 이므로 핵의 되튐에너지 E_R 은 핵의 질량이 m 이라 할 때

$$\begin{aligned} E_R &= \frac{1}{2} m v_R^2 = \frac{(m v_R)^2}{2m} = \frac{1}{2m} P_R^2 \\ &= \frac{1}{2m} \left(\frac{\hbar\omega}{c} \right)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

이다. 이때 핵의 들뜬상태에서 바닥상태사이의 차를 E_0 라 하면 에너지보존법칙에 의하여 $E_0 = E_R + \hbar\omega$ 이기 때문에 γ 선의 에너지는 핵의 천이 에너지보다 E_R 만큼 작게 된다. 또 천이 에너지가 E_0 인 핵과 충돌한 γ 선이 공명흡수되기 위해서는 에너지가 $(E_0 + E_R)$ 인 γ 선이 입사되어야 한다. 따라서 핵에서 방출되는 γ 선의 에너지 $(E_0 + E_R)$ 를 같은 종류의 핵에 공명흡수가 일어나게 하기 위해서 필요한 에너지 $(E_0 + E_R)$ 보다 $2E_R$ 만큼 부족하다. 그리고 되튐에너지 E_R 은 γ 선 에너지의 자연선 폭보다 크면 공명흡수가 일어나지 않는다. 따라서 자유원자핵의 경우에는 공명흡수를 기대할 수 없다. 그런데 1958년에 R.L. Mössbauer 는 이런 되튐에너지가 없이 공명흡수가 일어나게 할 수 있는 방법을 발견하였다. 즉 γ 선을 방출 또는 흡수하는 원자핵이 고체내에 구속되어 있는 경우에는 고체 전체가 되튐운동량을 흡수하기 때문에 $m \rightarrow \infty$ 로 볼 수 있어 되튐에너지(E_R)은 실제로 0가 된다. 이러한 되튐이 없는 γ 선의 방출 또는 흡수를 Mössbauer effect 라 한다.^{8,9)} 그리고 Mössbauer 효과를 이용한 실험에 적당한 핵종으로는 되튐에너지가 작으며 모체의 반감기가 길고 들뜬상태의 수명이 비교적 긴 핵종이라야 한다.

2. Isomer shift

원자핵이 점이 아닌 유한한 체적을 갖고 있기 때문에 핵 전하가 핵을 둘러싸고 또한 투과할 수도 있는 s 전자와의 상호작용에 의해 핵의 에너지 준위가 shift 된다. 또한 핵 주위의 전자 분포를 고려하면 핵자운과 s 전자와의 상호작용에 의한 에너지 준위의 shift 가 생긴다.

만일 핵을 점으로 생각하면 거리 r 점에서 정전기적 potential V_P 는

$$V_P = Ze/r \quad (2)$$

이다. 실제로 핵에는 어떤 크기가 있으므로 핵을 구체로 생각하여 그 반경을 R, 전하량을 Ze 라 하고 Ze 가 반경 R인 구에 균일하게 분포되어 있다고 가정하면 핵의 정(正)전하가 만드는 정전기적 potential 은

$$\begin{aligned} r = R, & \quad V = \frac{Ze}{R} \\ r > R, & \quad V(r') = \frac{Ze}{r} \\ r < R, & \quad V(r) = \frac{Ze}{R} \left\{ \frac{3}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

이다. 그리고 핵 주위의 s 전자 밀도를 ρ 라 하면 핵 에너지 준위의 shift ΔE 는 적분에 의하여 다음과 같이 구할 수 있다. ^{5,10)}

$$\begin{aligned} \Delta E &= \int_0^\infty \Delta V \rho dV \\ &= \int_0^R \{ V(r) - V(r') \} \rho dV \\ &= \int_0^R \rho \{ V(r) - V(r') \} 4 \pi r^2 dr \\ &= \frac{4 \pi \rho Ze}{R} \int_0^R \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \frac{r^2}{R^2} - \frac{R}{r} \right) r^2 dr \\ &= -\frac{2}{5} \pi \rho Ze R^2 \end{aligned}$$

이 된다. s 전자 전하밀도 ρ 대신에 s 전자의 확률밀도 $|\phi(0)|^2$ 을 쓰면

$$\rho = -e |\phi(0)|^2$$

와 같이 되며, (4)식은

$$\Delta E = \frac{2}{5} \pi Z e^2 |\phi(0)|^2 R^2 \quad (5)$$

가 된다. 따라서 Fig.1(a)에서 보는 것과 같이 에너지 준위의 ΔE 를 쉽게 구할 수 있다. 또한 γ 선을 방출하는 source를 고려할 때 들뜬상태의 핵반경을 R_{ex} , 바닥상태의 핵반경을 R_{gr} 이며 $R_{ex} \neq R_{gr}$ 이므로 γ 선 방출에 대한 천이에너지도 달라지게 된다. 본래의 천이ener지를 E_0 , 들뜬 상태의 에너지를 E_{ex} , 바닥상태의 에너지를 E_{gr} 이라 하면

$$E_{gx} = E_0 + \frac{2\pi}{5} Z e^2 |\phi_s(0)|^2 R_{ex}^2$$

$$E_{gr} = \frac{2}{5} \pi Z e^2 |\phi_s(0)|^2 R_{gr}^2$$

이다. 첨자 S는 source를 가리키기 위한 표시이다. source에서 에너지 차는

$$(E_{ex} - E_{gr})_s = E_0 + \frac{2}{5} \pi Z e^2 |\phi_s(0)|^2 (R_{ex}^2 - R_{gr}^2) \quad (6)$$

이다. 마찬가지로 absorber에서의 에너지 차는

$$(E_{ex} - E_{gr})_A = E_0 + \frac{2}{5} \pi Z e^2 |\phi_A(0)|^2 (R_{ex}^2 - R_{gr}^2) \quad (7)$$

가 된다. 첨자 A는 absorber를 뜻한다. 그리고 (6)식과 (7)식에서 보여주듯이 source에서 들뜬상태로부터 바닥상태로 천이할 때 방출되는 γ 선 에너지는 absorber를 바닥상태에서 들뜬상태로 천이시키는데 필요한 에너지와의 차이가 있으므로 이 차이를 보상해 주어야 absorber에서 공명흡수가 일어나며 이 차이의 값을 isomer shift라 하며 Fig. 1(b)와 같다. 따라서 (7)식에서 (6)식을 빼면

isomer shift 값은 다음과 같이 구하여 진다.

$$\begin{aligned} \text{I.S.} &= (E_{e_x} - E_{g_r})_A - (E_{e_x} - E_{g_r})_S \\ &= \frac{2}{5} \pi Z e^2 (|\phi_A(0)|^2 - |\phi_S(0)|^2) (R_{e_x}^2 - R_{g_r}^2) \quad (8) \end{aligned}$$

여기서 $R_{e_x} - R_{g_r} = \Delta R$ 과 $R_{e_x} + R_{g_r} = 2R$ 이라 두면

$$\text{I.S.} = \frac{4}{5} \pi Z e^2 R^2 \left(\frac{\Delta R}{R} \right) (|\phi_A(0)|^2 - |\phi_S(0)|^2) \quad (9)$$

이고⁵⁾ Mössbauer 실험에서는 (9)식이 Doppler 속도 v 로 나타내어지며

$$v = \frac{c}{E_0} \cdot \frac{2}{5} \pi Z e^2 R^2 \left(\frac{\Delta R}{R} \right) (|\phi_A(0)|^2 - |\phi_S(0)|^2) \quad (10)$$

가 된다.¹¹⁾ Mössbauer spectrum에서는 Doppler 속도 0에서부터 shift 된 흡수 spectrum의 peak의 위치로써 isomer shift를 구할 수 있으며 핵에서의 isomer shift와 전자구조와의 관계는 s 전자의 contribution이 많을수록 isomer shift는 작아진다.



3. Quadrupole splitting

앞에서는 핵이 구형이고 전하분포가 균일하다고 가정하고 고찰하였지만 핵 spin $I \geq 1$ 인 경우 핵의 정전하분포가 비대칭이면 전기적사중극자 모우멘트를 갖게 되고⁶⁾ 이 quadrupole moment와 전자들에 의한 전기장 기울기와의 상호작용에 의하여 electric quadrupole splitting이 일어난다.

여기서 핵전하 Ze 의 전하밀도를 $\rho(\mathbf{r})$ 로 표시하고 핵 이외의 모든 다른 전하에 의한 정전기 포텐셜을 $V(\mathbf{r})$ 라 하면 이로인한 정전기적 상호작용 에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$E = \int \rho(\mathbf{r}) V(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$$

$V(\mathbf{r})$ 을 핵의 중심($\mathbf{r}=0$)에서 Taylor 급수로 전개하면

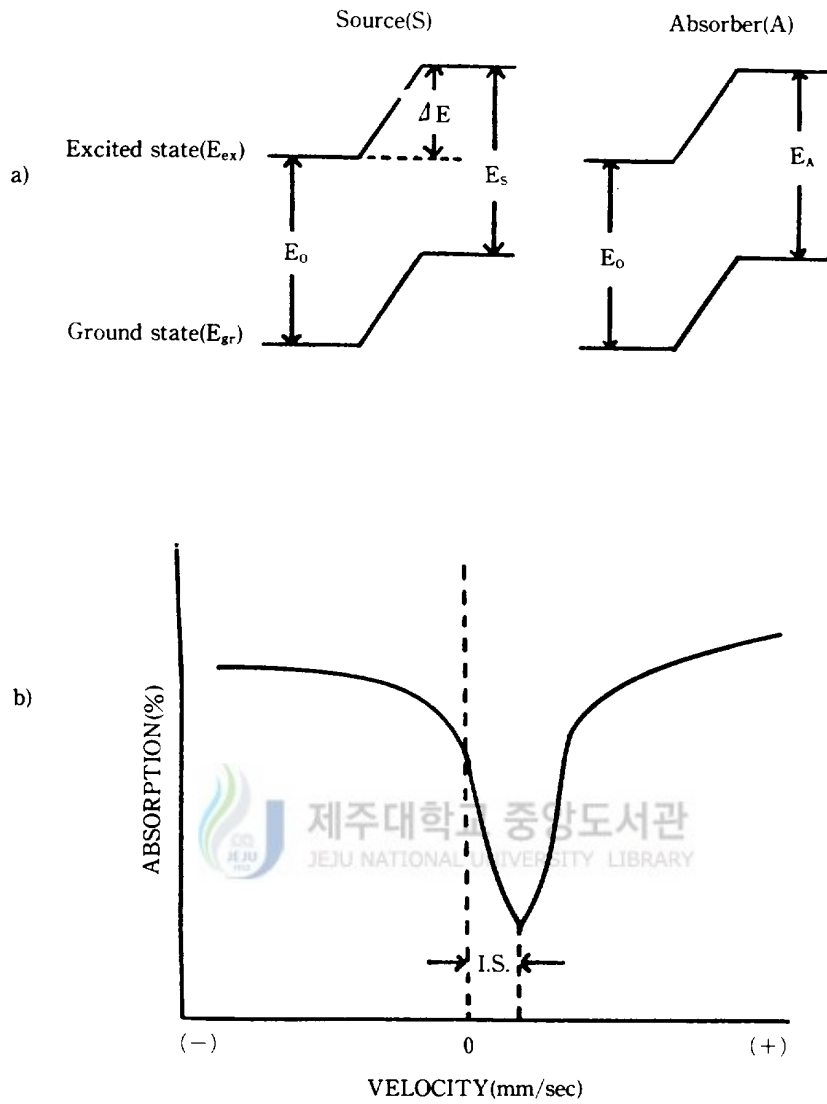


Fig. 1 The origin of isomer shift

a) energy level

b) shift of absorption line

$$V(\mathbf{r}) = V(0) + \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial V}{\partial r_i} \right) r_i + \frac{1}{2} \sum_{i,j} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i \partial r_j} \right) r_i r_j \quad (12)$$

이므로 (12)식을 (11)식에 대입하면

$$E = ZeV(0) + \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial V}{\partial r_i} \right)_0 \int \rho(\mathbf{r}) r_i d\mathbf{r} + \frac{1}{2} \sum_{i,j} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i \partial r_j} \right)_0 \int \rho(\mathbf{r}) r_i r_j d\mathbf{r} + \dots \quad (13)$$

이다. 여기서 r_1, r_2, r_3 는 \mathbf{r} 의 x, y, z 직교성분을 나타낸다. 첫째항은 핵 양자의 전하가 전부 핵의 중심에 모인 경우의 주위 전자들에 의한 Coulomb 에너지로써 상수에 불과하며 둘째항은 핵의 전기적 쌍극자와 전장과의 상호작용을 나타내지만 핵의 전하분포가 대칭이고 전기적 쌍극자능률을 갖지 않기 때문에 zero가 된다. 셋째항은 $r=0$ 에서 전기장의 기울기인 $\partial^2 V / \partial r_i \partial r_j$ 와 핵의 quadrupole moment인 $\rho(\mathbf{r})r_i r_j d\mathbf{r}$ 와의 상호작용을 나타내며 좌표축을 적절히 잡으면 $i \neq j$ 일때 $\partial^2 V / \partial r_i \partial r_j = 0$ 이고 $i=j$ 일때는 $\partial^2 V / \partial r_i^2 \neq 0$ 이다.

따라서 전기장의 기울기는 2개의 대칭텐서이며 셋째항을 E_Q 로 표시하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} E_Q &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right)_0 \int \rho(\mathbf{r}) r_i^2 d\mathbf{r} \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right)_0 \int \rho \left(r_i^2 - \frac{r^2}{3} \right) d\mathbf{r} + \frac{1}{6} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right)_0 \int \rho r^2 d\mathbf{r} \quad (14) \end{aligned}$$

한편 poisson의 방정식

$$\sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right) = 4\pi e |\phi(0)|^2$$

을 고려하면 (14)식의 둘째항은 isomer shift에 해당된다. 여기서

$$\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right)_0 = V_{xx}, \quad \left(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right)_0 = V_{yy}, \quad \left(\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right)_0 = V_{zz}$$

으로 표시하고 $|V_{zz}| \geq |V_{xx}| \geq |V_{yy}|$ 로 가정하여 다음과 같이 비대칭 매개

변수 η 를 정의한다.

$$\eta = \frac{V_{xx} - V_{yy}}{V_{zz}}$$

여기서 η 의 값은 0과 1 사이의 값을 취한다. (14)식의 첫째항은 3/2 상태에서 에너지 splitting 을 나타내며 ΔE_Q 로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta E_Q &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial r_i^2} \right)_0 \int \rho \left(r_i^2 - \frac{r^2}{3} \right) dr \\ &= \frac{1}{4} V_{zz} \int \rho(r) (3Z^2 - r^2) dr \end{aligned} \quad (16)$$

지금 $V_{xx} \neq V_{yy} \neq V_{zz}$ 인 경우, 즉 $\eta \neq 0$ 인 경우에는 핵의 spin 양자수 I 와 자기 양자수 m 을 이용하면

$$\int \rho(r) (3z^2 - r^2) dr = e^2 Q \left(1 + \frac{\eta^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{3m^2 - I(I+1)}{I(2I-1)} \right\} \quad (17)$$

이다. 여기서 Q 는 전기사중극자모멘트이다. 따라서 (16)식은 다음과 같이 된다.

$$\Delta E_Q = \frac{1}{4} V_{zz} e^2 Q \left(1 + \frac{\eta^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{3m^2 - I(I+1)}{I(2I-1)} \right\} \quad (18)$$

$V_{xx} = V_{yy} = V_{zz}$ 인 경우, 즉 전기장기울기가 축대칭인 경우에는 $\eta = 0$ 이므로 (16)식은 다음과 같이 된다.

$$\Delta E_Q = \frac{1}{4} V_{zz} e^2 Q \left\{ \frac{3m^2 - I(I+1)}{I(2I-1)} \right\} \quad (19)$$

Fe^{57} 의 경우는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 $I=3/2$ 준위에 속하는 4 개의 양자상태가 2 개의 에너지 준위로 splitting 된다. 이때 두 준위사이의 에너지 차이가 quadrupole splitting 이며 다음과 같이 된다.

$$Q.S. = \Delta E_Q = \frac{1}{2} V_{zz} e^2 q \left(1 + \frac{\eta^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

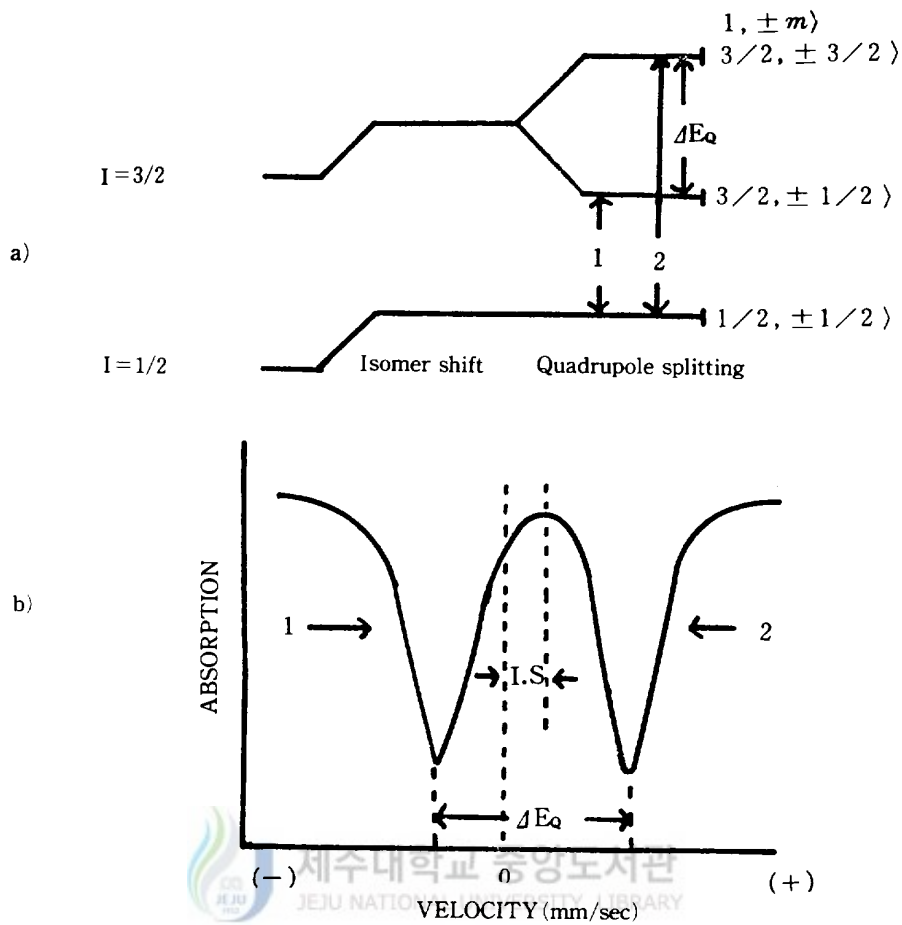


Fig. 2 Quadrupole splitting for a nucleus with spin $I=3/2$ in the excited state(Fe^{57})

a) $I=3/2$ level splitting into sublevel by electric quadrupole interaction

b) Mössbauer spectrum of quadrupole splitting

$\eta=0$ 인 경우 $I=3/2$ 일 때 $m=\pm 3/2$ 및 $m=\pm 1/2$ 을 (19)식에 대입하면 다음과 같이 2개로 splitting이 됨을 알 수 있다.

$$\Delta E_Q \frac{3}{2}, \pm \frac{3}{2} = \frac{e^2 V_{zz} Q}{4}, \quad \Delta E_Q \frac{3}{2}, \pm \frac{1}{2} = -\frac{e^2 V_{zz} Q}{4} \quad (21)$$

이때 quadrupole splitting 값은 다음과 같이 구해진다.

$$Q.S. = (\Delta E_Q_{\frac{3}{2}, \pm \frac{3}{2}}) - (\Delta E_Q_{\frac{3}{2}, \pm \frac{1}{2}}) = \frac{1}{2} e^2 V_{zz} Q$$

4. 제주도의 형성과정

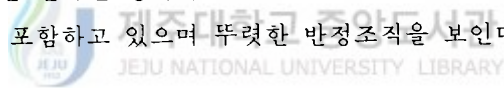
제주도에 관한 지질학적·광물학적 연구는 Nakamura¹²⁾와 Haraguchi¹³⁾등이 최초로 수행하였으며, 그 후 많은 학자들에 의해 연구가 이루어졌다. 최근에는 화학적인 분석법을 이용하여 제주도의 화산암 전반에 걸쳐 성분을 상세히 분석한 바 있다.

제주도는 신생대 제 3 기에는 바닷물 위에 나타나지 않았었다. 그후 화산활동이 시작되어 해발 수 10~수 100 m 정도의 편평한 섬이 바닷물 위에 만들어졌고 섬의 주위에는 화산쇄설물의 퇴적이 시작되어 많은 화석을 함유하는 서귀포층을 만들었다. 서귀포층속에 화석층이 세겹이상 발견되는 것으로 보아 서귀포층이 쌓일때는 제주도의 땅덩어리는 매우 불안정하여 상하운동을 몇번 하였던 것으로 추정하고 있다. 그후 화산활동은 계속되었으며 점성도가 작은 현무암질용암을 다량으로 분출하였다. 그때 화산분출형식은 하와이식으로 큰 폭발이 없었으며 마치 용천수서 물이 나오듯이 많은 양의 용암의 섬이 장축방향의 주변 여기저기서 대량으로 흘러나왔다. 그래서 지금의 해안지대의 섬모양을 만들었고 그때 제주도는 중심부가 약간 높은 해발 수 100 m의 순상형의 편평한 모양을 하고 있었다. 화산활동은 서서히 힘이 약해지고 또 분출하는 용암의 양과 성분도 변하면서 산방산, 범섬, 섯섬, 문섬 등과 같은 윗부분이 둥근 용암돔을 만든 후 용암형성단계의 화산활동은 휴식단계에 들어갔다. 얼마간의 휴식이 있은후 제주도는 다시 화산활동이 시작되었고 이 단계에서 한라산체를 형성하였다. 화산활동은 주로 섬의 중심부에서 일어났으며, 한라산체를 형성한 마그마의 상승은 섬 전체를 용기시켰다. 그 용기는 특히 남쪽이 심하며 성산, 산방산(용머리)등 수중화산폭발 지형이 해수변위에 나오게 되었고 화산분출형식은 스트롬볼리식으로 변하여 용암 뿐만아니라 화산쇄설물도 같이 분출하여 성층화산을 만들었고 분출된 용암의 점성도가 해안저지대의 그것보다 약간 커서 경사를 갖는 지형을 만들었다. 이 화산활동은 약 해발 1,600 m 정도의 한라산체를 만들었고 최종적으로 한라산 정상위에 화구를 막으면서 높이 300 m의 중모양의 용암

뎀을 만들었다. 한라산체가 만들어지는 때와 거의 동시 또는 그후에 전도에 걸쳐서 다시 화산활동이 시작되었고 이 화산활동이 기생화산형성단계이다. 이 단계에서는 초기에 점성도가 작은 현무암질 물질을 분출하여 이미 형성된 용암대지위에 얇게 덮었고 그후 섬의 도처에 360여개 이상의 기생화산을 만들었으며 맹렬한 폭발을 수반하는 스트롬볼리식분화를 하였고 많은 화산쇄설물을 분출하였다.

제주도 화산암의 명칭은 SiO_2 의 양에 따라 알칼리현무암(SiO_2 함량 50% 이하) —하와이아이트(50% 전후)—Mugearite(52~54%)—조면암(57% 이상)등으로 부르며 제주도의 화산암은 95%정도가 SiO_2 함량이 47%~51%의 범위를 갖는 알칼리현무암과 하와이아이트로 구성되며 그 나머지는 SiO_2 가 54%~65%에 속하는 무지어라이트와 조면암등이다.

제주도가 만들어지는 과정에서 편평한 용암대지를 만든 단계는 주로 알칼리현무암과 하와이아이트의 용암을 분출하였고 용암대지 형성단계 후기에는 무지어라이트와 조면암성분의 산방산 범섬, 쇄섬, 문섬등을 만들었다. 한라산체를 이루고 있는 화산암은 대부분 하와이아이트이고 백록담의 남서쪽 절벽, 영실, 천왕사, 오백장군 등은 SiO_2 가 59%~65% 정도를 나타내는 조면암으로 이루어졌다. 그리고 해안저지대를 만들고 있는 화산암의 구성광물의 종류와 조직을 비교해 보면 해안저지대를 만들고 있는 화산암은 주로 알칼리현무암으로서 감람석이 제일 많으며 사장석이 반정으로 거의없고 반면 한라산 덩어리를 만들고 있는 화산암은 대부분 하와이아이트로써 사장석을 많이 포함하고 있으며 뚜렷한 반정조직을 보인다.



III. 실험

I. 시료제작

본 실험에서 사용한 시료는 Fig.3에 표시한 섯섬, 문섬, 범섬에서 채취한 화산암으로서 제주도 해안선과 떨어진 거리를 수직으로 하여 측정하였을 때 섯섬이 0.45 km로 가장 가깝고 문섬과 범섬 1.3 km로 동일한 거리에 위치하고 있음을 알았다^{14,15)}

따라서 Mössbauer 공명흡수선을 조사하기 위하여 위 지역에서 공기와 접촉이 비교적 적은 화산암을 채취한 후 막자사발에 넣어 고운분말($\phi = 0.03 \sim 0.05 \text{ mm}$)로 만들어 시료로 사용하였으며 문섬과 섯섬의 화산암 분말은 녹색의 빛을 지녔으며

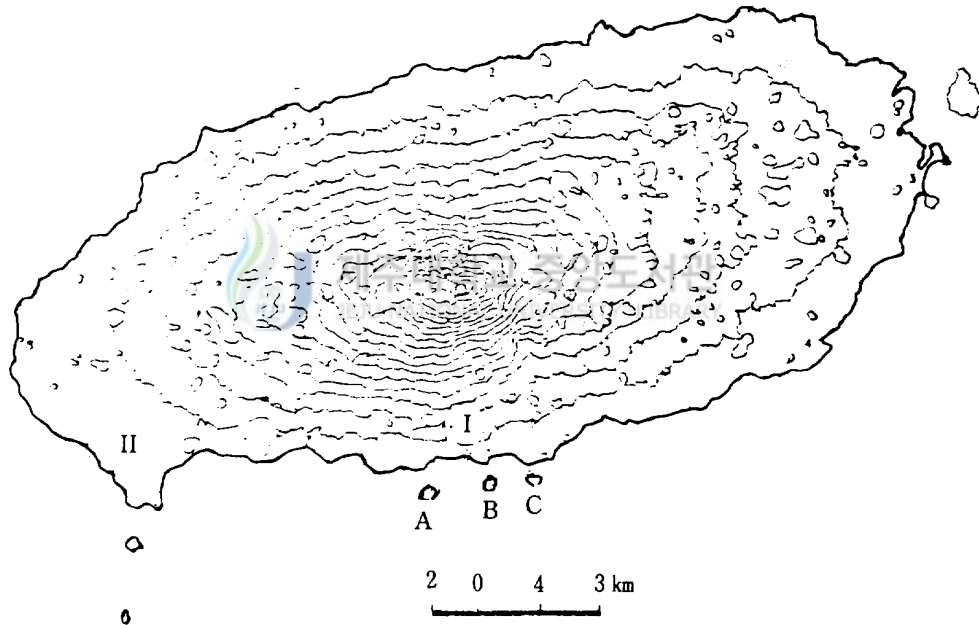


Fig. 3 Sampling location of Cheju volcanic rock

A: Bum-island

B: Mun-island

C: Sup-island

범섬의 분말은 연회색을 띠고 있었다. 그리고 각 시료는 약 50 mg 이 되도록 화학 천칭을 이용하여 평량하고 설탕과 혼합한 후 직경 2 cm 의 pallet로 만든 다음 시료의 산화와 수분의 침입을 막기 위하여 스키치테이프로 봉하여 사용하였다.

2. 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치는 등가속형 Mössbauer spectrometer(미국 Austin 사)로써 속도범위는 0.01 mm/sec~60 mm/sec 이며 실험장치의 개략도는 Fig. 4 에 나타내었다.

spectrometer 는 Motorola 6800 computer 로 제어되고 제어된 spectrometer 는 drive moter 를 구동시켜 원하는 속도로 등가속도 왕복운동시키면 이때 drive moter 의 진동자끝에 부착된 γ 선원은 Doppler 효과에 의하여 $\Delta E = \pm v/cE_r$ 만큼의 에너지 shift 를 갖게되고 이 가감된 γ 선 에너지가 흡수체의 흡수에너지와 일치할 때 공명흡수가 일어난다. 또한 이 Doppler 에너지가 가감된 γ 선은 흡수체를 투과

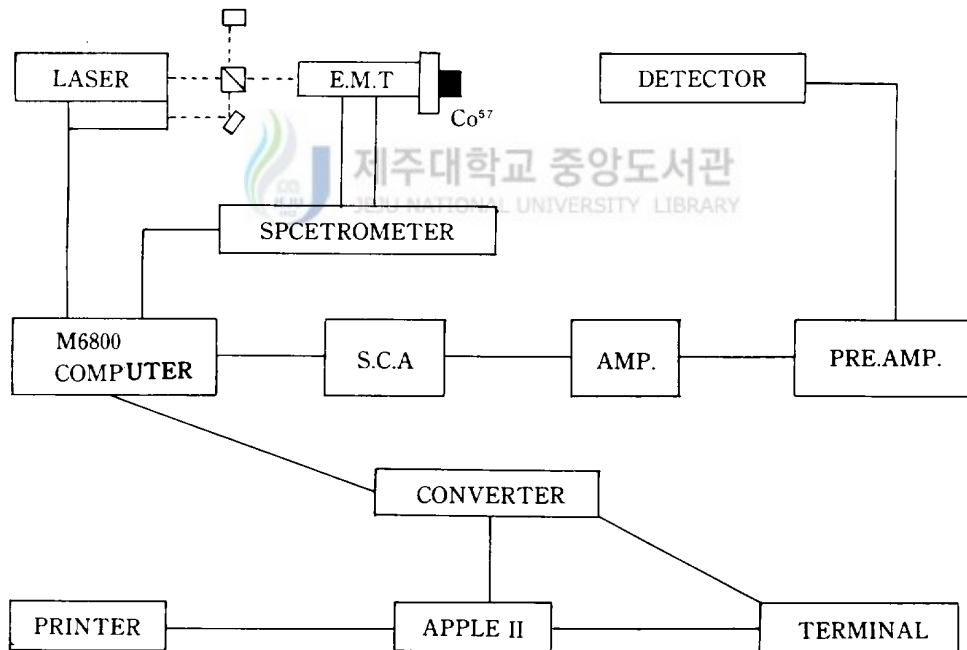


Fig. 4 Block diagram of Mössbauer spectrometer

하여 검출기에 들어와 전기적 신호로 바뀐다. 이러한 전기적 신호는 preamplifier에 의해 증폭되어 single channel analyzer에서 14.4 keV에 해당하는 energy 만을 통과시켜 Motorola 6800 computer의 각 channel에 대응하는 속도의 계수로 측정된다.

γ 선 source의 Doppler 속도는 helium-neon 레이저를 광원으로 하는 Michelson 간섭계를 사용하여 Fe에 대한 상대속도를 정밀하게 측정할 수 있도록 하였다. 따라서 흡수체를 통과한 γ 선 에너지와 γ 선 source의 Doppler 속도는 동시에 측정되어 Motorola 6800 computer의 70~1024 channel에 누적된다. 그리고 Motorola 6800 computer에 Apple II computer를 연결시켜 누적된 자료는 Apple II computer로 이송시킬 수 있도록 하였다.

3. 실험방법

본 실험에 사용한 γ 선 source는 rhodium이 주입된 5 mCi의 Co^{57} 을 사용했다. Co^{57} 의 붕괴에 의한 에너지 천이과정은 Fig. 5와 같다. Co^{57} 은 핵 주위의 K각에 있는 s 전자를 포획하고 β^+ 붕괴하여 Fe^{57} 의 5/2상태로 떨어지는데 3/2상태에서 1/2상태로 천이할 때 14.4keV의 γ 선이 방출된다. 이 14.4keV의 γ 선이 Mössbauer 효과에 이용되는 에너지이다. Fig. 5에서와 같이 3/2상태에서 들뜬 시간은 10^{-7}sec

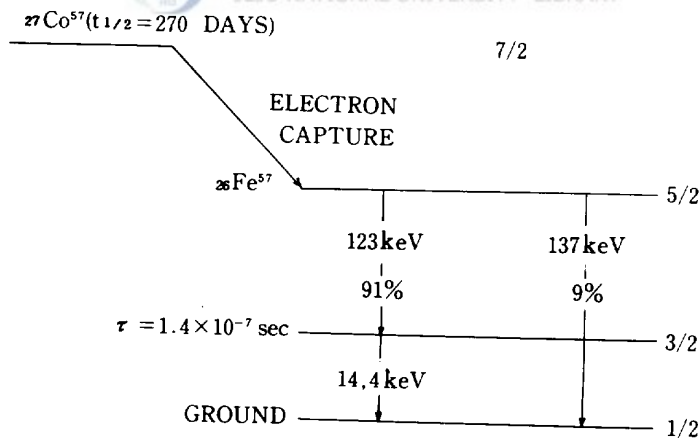


Fig. 5 Decay scheme of Co^{57}

이므로 에너지선폭은 Heisenberg 의 시간 - 에너지 불확정성원리 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ 에서 $\Delta E = \Gamma = \frac{\hbar}{\tau} = 4.67 \times 10^{-9} \text{eV}$ 가 된다.

γ 선 source 와 검출기 사이를 120 mm 로 하고 약 24시간 동안 공명흡수선을 측정하고 측정계수가 4×10^5 까지 되도록 하였다. 실험은 먼저 시료내에 존재하는 모든 흡수선을 조사하기 위해서 $\pm 5 \text{ mm/sec}$ 의 Doppler 속도에서 스펙트럼을 측정하였다. 그후 Motorola 6800 computer 에 누적된 자료들은 converter 를 통하여 Apple II computer 로 이송시켜 미니 플로피 디스크에 수록하여 분석하였다.



IV. 결 과

I. Mössbauer spectrum

제주도 부속도서인 섭섬, 문섬 그리고 범섬에서 채취한 화산암을 가지고 상온에서 Mössbauer spectrum 을 조사해본 결과 Fig. 6 과 같음을 알았다.

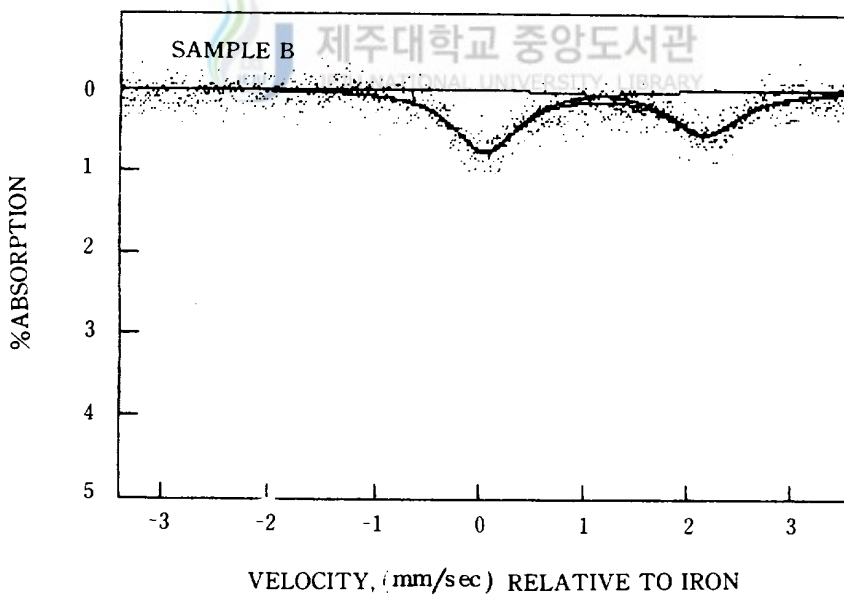
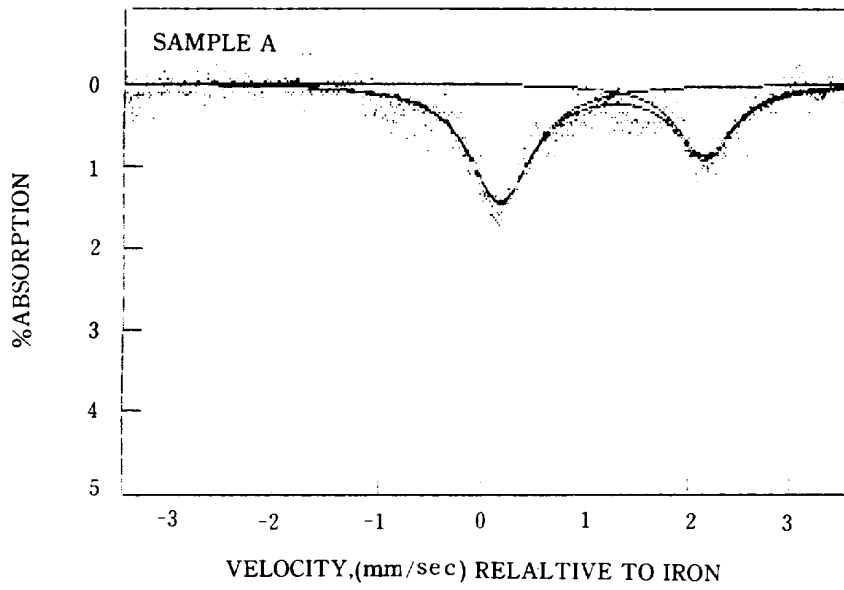
이들 시료의 Mössbauer spectra 를 least square method 로 Lorentzian curve 에 fitting 시켰으며 computer program 의 parameter 는 공명흡수점에너지 E, 선포 Γ , 흡수 peak 점 I_i 및 base line 등을 결정하여 Lorentzian line shape 식

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

에 data 를 fitting 시켜 E_i , Γ_i 및 I_i 를 구한 다음

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

의 식에 대입하여 각 지역의 시료 A, B 및 C에 대한 상온에서의 isomer shift, quadrupole splitting 및 공명흡수면적을 구하여 Table 1에 실었다. 그리고 제주도 와 부속도서와의 Mössbauer spectra 를 비교 조사하기 위하여 Fig. 3 에서와 같이 해발저지대인 I, II 지역의 Mössbauer spectrum 을 Fig. 7 에 실었고¹⁶⁾ computer fitting 값은 Table 2에 실었다.



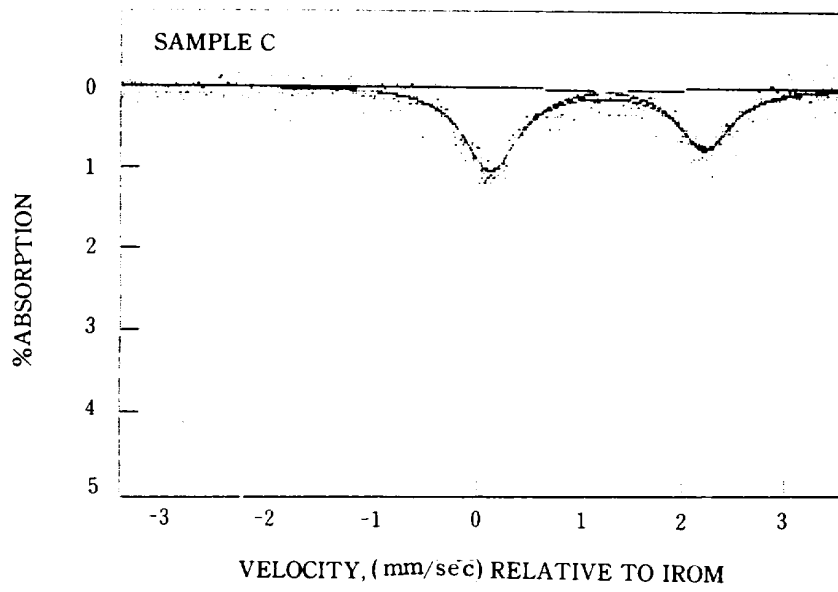


Fig.6 Mössbauer spectra of sample A, B, and C at room temperature

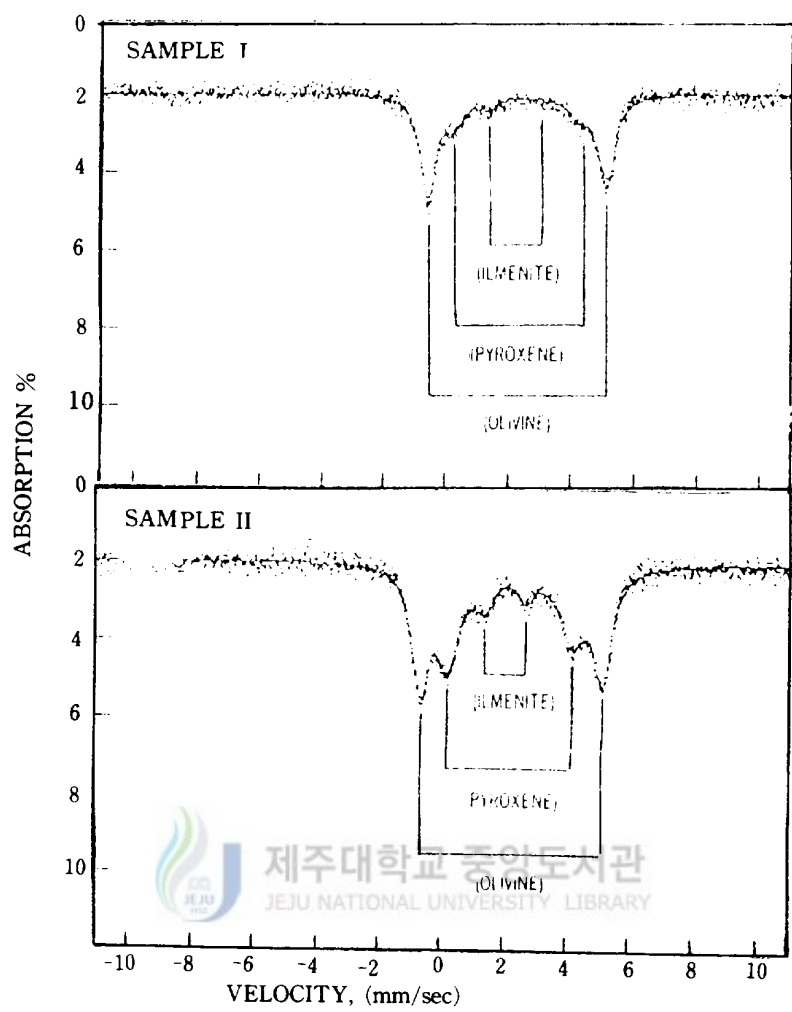


Fig. 7 Mössbauer spectra of sample I, II at room temperature

Table 1. Mössbauer parameters of sample A, B and C at room temperature.

SAMPLE	ISOMER SHIFT (mm/sec)	QUADRUPOLE SPLITTING (mm/sec)	ABSORPTION AREA
A	1.136	1.981	0.808
B	1.906	2.117	0.499
C	1.148	2.086	0.565

Table 2. Mössbauer parameters of sample I, II at room temperature.

SAMPLE	ISOMER SHIFT (mm/sec)	QUADRUPOLE SPLITTING (mm/sec)	ABSORPTION AREA
I	1.145	2.842	1.167
II	1.135	2.887	1.513

2. Isomer shift 와 Quadrupole splitting

각 시료의 Mössbauer parameters 값은 Table 에 보인 바와 같다. 시료 채취 지역에 따른 isomer shift 값의 변화는 Fig.8 에 보인 바와 같이 특별한 변화가 없는 것으로 볼 수 있고 Fig.9 에 보인 quadrupole splitting 값은 B가 A, C보다 약간 증가함을 보여주고 있다.

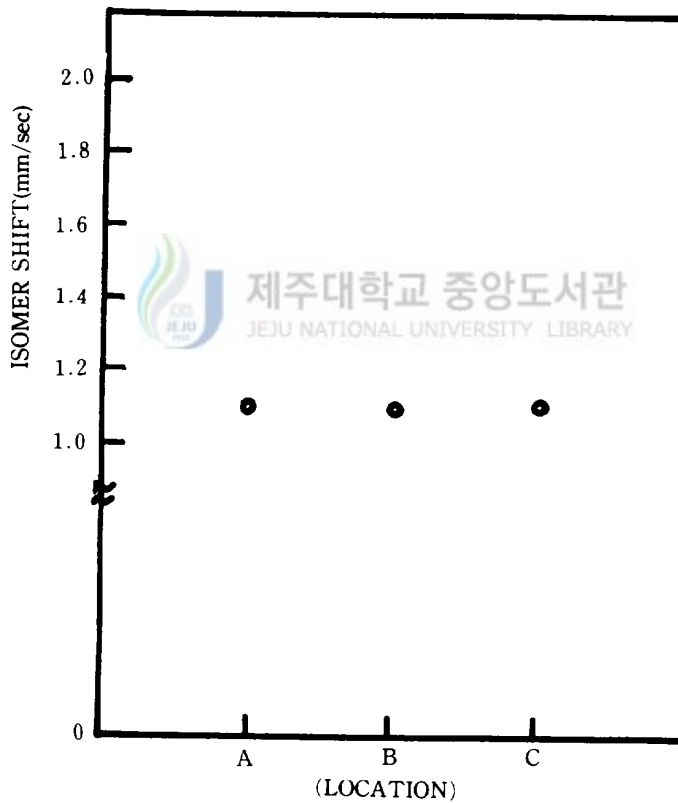


Fig. 8 Isomer shift vs. sampling location for three minerals

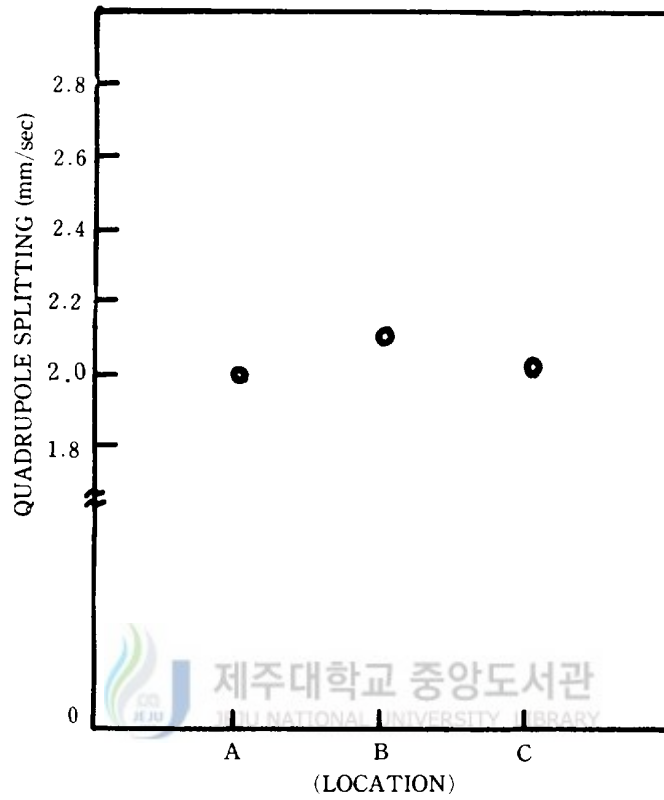


Fig. 9 Quadrupole splitting vs. sampling location for three minerals

V. 논 의

1. Mössbauer spectrum

제주도 화산암은 화성암의 일종으로서 olivine, pyroxene, feldsper 가 주된 광물이며 magnetite, apatite 그리고 소량의 ilmenite 가 소량 함유되어 있다. 그러나 본 연구에서 측정된 Mössbauer spectrum 은 magnetite 에 의한 magnetic hyperfine splitting 은 존재치 않았으며 해안저지대의 화산암에 대한 spectrum 은 olivine, pyroxene, ilmenite 의 광물에 의한 세쌍의 quadrupole splitting 이 중첩되어 있는 형태인 반면 부속도서의 스펙트럼들은 한쌍의 quadrupole splitting 만 나타나는데 이것은 olivine, pyroxene 그리고 ilmenite 에 의한 공명흡수선의 중첩으로 해석할 수 있었다. 또한 부속도서의 스펙트럼들은 서로 거의 비슷한 모양을 나타내고 있는데 이것은 구성광물이 거의 같음을 알 수 있다.

2. Isomer shift

본 실험에서 조사한 부속도서의 isomer shift 값은 1.096~1.148(mm/sec) 의 범위로써 거의 비슷함을 알았다. 또한 이것은 시료에 존재하는 철 ion 의 원자가 상태가 Fe^{3+} ion 보다는 Fe^{2+} ion 으로 존재하는 것으로 볼 수 있으며 그 이유는 공기와 비교적 접촉이 적은 화산암 시료를 사용했기 때문으로 생각된다. isomer shift 가 주로 s 전자 밀도의 영향을 크게 받는다는 점을 고려하면, 각 지역에서의 화산암에 함유된 광물이 거의 동일한 화학구조를 갖고 있음을 의미한다. 또한 이 값들은 해안저지대의 화산암에 포함된 주요광물인 olivine 의 값과 비슷함을 확인하였다.

3. Quadrupole splitting

조사한 부속도서의 quadrupole splitting 값은 1.981~2.117(mm/sec) 범위의 값을 가진다. 시료 채취지역에 따른 quadrupole splitting 값의 변화는 B가 A, C보다

약간 증가하는데 이것은 지역적인 특징에 기인하는 것으로 보지 않는다. 또한 이 값으로 부터 각 광물의 화학조성이 거의 동일하게 이루어져 있다고 볼 수 있다. 그리고 해안저지대의 quadrupole splitting 값과는 약 0.8(mm/sec) 정도의 차이를 보였는데 이것은 부속도서가 Na 성분의 해수에 의한 영향으로 볼 수 있다.¹⁷⁾

4. 공명흡수면적

Mössbauer spectrum의 공명흡수면적은 시료에 함유되어 있는 Fe의 양과 관계가 있다. 시료를 채취한 지역의 공명흡수면적은 거의 유사한 값을 보여주고 있으나 해안저지대와는 약 0.7~1.1(mm/sec)의 차이를 나타낸다. 이것은 제주도 화산암에 대한 Mössbauer spectrum의 연구조사¹⁶⁾에 의하면 제주도의 화산암은 높은 지역의 olivine일수록 철을 다량 포함한 fayalite가 많이 존재하며 반면에 낮은 지역일수록 Mg를 다량 포함한 forsterite가 많이 존재한다고 한다. 그러므로 본 실험의 시료채취 지역은 해안저지대(해발 400 m)의 지역보다 훨씬 낮은 지대이므로 제주도 본토보다 소량의 철을 포함한 olivine으로 주로 구성되어 있다고 할 수 있으므로 본 실험에서 얻은 공명흡수면적은 해안저지대의 값보다 상당히 작음을 알 수 있었다.



VI. 결 론

본 연구에서는 제주도 부속도서중 3개 지역에서 채취한 화산암의 Mössbauer spectrum 을 측정하여 화산암을 구성하는 주된광물인 olivine 내의 Fe 이온의 물성을 조사하였다. 조사된 화산암과 제주도 해안저지대의 화산암의 Mössbauer spectrum 을 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 제주도 부속도서의 화산암의 Mössbauer spectrum 은 주로 olivine 에 의한 한쌍의 quadrupole splitting 을 나타낸다.
2. 제주도 부속도서를 구성하고 있는 화산암의 isomer shift 값과 quadrupole splitting 값으로 부터 화산암에 함유된 Fe 는 약간의 Fe³⁺를 제외하고는 거의 모두가 Fe²⁺상태로 존재함을 확인하였다.
3. 제주도 부속도서인 3개 지역의 Mössbauer spectrum 의 공명흡수면적은 서로 비슷함을 확인하였다.
4. 제주도 부속도서인 3개 지역의 Mössbauer spectrum 을 분석한 결과 이 지역들은 거의 비슷한 화학성분으로 이루어져 있음을 확인할 수 있었다.

< Abstract >

**A Study on Mössbauer Effect of Volcanic Rock of
Sup-island, Mun-island and Bum-island.**

Hyun Young-mi

*Graduate School of Education, Cheju National
University Cheju, Korea*
*Supervised by Professor **Hong Sung-rak***

In this study, the Mössbauer parameters such as isomer shift and quadrupole splitting for powder samples of lava taken from three islands located in the southern part of Seoguiipo are measured at the room temperature.

The analysis of Mössbauer spectra shows that the major iron compounds of Cheju volcanic rock are composed of olivine, pyroxene, and ilmenite.

In addition, the spectra have a six line magnetically hyperfine split pattern characteristic of impure hematite.



참 고 문 헌

- 1) 이문원·손익석, 제주도는 어떻게 만들어진 섬일까, 도서출판 춘광, p. 53~61(1984).
- 2) 원종관, 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구, 건국대학교 이학논문제 1 집, p. 3~39(1975).
- 3) 이상만, Volcanic Rocks in Cheju Island, Jour. Geo. Soc., Vol. 2, No. 2, p. 1~7 (1966).
- 4) H. Frauenfelder, The Mössbauer effect, W. A. Benjamin, Inc., N. Y (1962).
- 5) G. K. Werthein, Mössbauer effect, Academic Press Inc., N. Y (1964).
- 6) N. N. Green Wood, T. C. Gibb, Mössbauer Spectroscopy, Chapman & Hall Ltd., London (1971).
- 7) T. C. Gibb, Principles of Mössbauer Spectroscopy, Chapman & Hall Ltd., London (1976).
- 8) 옥항남, 뫼스바우어 분광학, 민음사, (1983).
- 9) Gunther K. Werthein, Mössbauer Effect: Principles and Applications, p. 11 Academic Press Inc., N. Y. (1971).
- 10) J. Jackson, Classical Electrodynamics, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., N. Y. (1975).
- 11) U. Gonsor, ed., Mössbauer Spectroscopy, Springer Verlag Berlin Heidelberg (1975).
- 12) S. Nakamura, Note on Saishu, Volcanic island, The Grove (Chikya), 4, 325 (1925).
- 13) K. Haraguchi, chikya, 10, 350 (1928): Chikya, 10, 46 (1929).
- 14) 조맹수, 제주의 섬, 도서출판 조약돌 (1986).
- 15) 내무부, 도서지, 대한지방협회 (1973).
- 16) 홍성락, Mössbauer 효과에 의한 제주도 화산암의 미시적 연구, 동국대학교 (1986).
- 17) 신영남, Alkali Borate 유리에서의 철이온의 Mössbauer Spectrum 에 관한 연구, 동국대학교 (1983).