

碩士學位 請求論文

高度에 따른 濟州 火山岩의 Mössbauer 研究

指導教授 洪 性 樂



濟州大學校 教育大學院

物理教育 專攻

柳 景 豪

1989年 7月

高度에 따른 濟州 火山岩의 Mössbauer 研究

이 論文을 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 柳 景 豪

指導教授 洪 性 樂

1989年 7月 日

柳景豪의 碩士學位 論文을 認准함

1989年 月 日



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

主 審 _____ (印)

副 審 _____ (印)

副 審 _____ (印)

濟州大學校 教育大學院

目 次

Abstract	1
I. 序 論	2
II. 理 論	4
1. Mössbauer 效果	4
2. 異性質體移動	6
3. 二次 도플러移動	9
4. 四重極子 分裂	10
5. Magnetic Hyperfine Splitting	13
6. 제주도의 형성 과정과 화산암의 화학적 특징	16
III. 實 驗	19
1. 시료 제작	19
2. 실험 장치	19
3. 실험 방법	21
IV. 結果 및 論議	22
1. Mössbauer 스펙트럼	22
2. 異性質體移動	26
3. 四重極子 分裂	27
4. 共鳴吸收面積	28
V. 結 論	29
Reference	30

<Abstract>

Mössbauer Study of Cheju Volcanic Rock with Increasing Altitude

Ryoo, Gyung-Ho

Physics Education Major

*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 increasing altitude are measured at the room temperature.

The values of isomer shift and quadrupole splitting show that samples are composed of Fe^{2+} ionic state, and according to resonance absorption area amount of iron in Cheju volcanic rock is more value with increasing altitude.

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

* A thesis submitted to the Committee of the Graduate School of Education, Cheju National University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Education in July, 1989.

I. 序 論

우리 나라 최남단에 위치하는 제주도는 지금부터 약 100만 년 전인 플라이오세 (pliocene) 말기로부터 플라이스토세 (pleistocene) 에 있었던 화산 活動에 의해서 만들어진 큰 화산섬이다.¹⁻⁶ 그 크기는 長徑 약 80 km, 短徑 약 40 km인 타원형으로 섬의 중심부에는 높이 약 1950 m의 楕狀火山體가 있다.

제주도의 형성 과정은 처음에는 해저에서 시작하여 해변 위로 편평하고 낮은 熔岩臺地를 형성했으며, 그 후 한라산체를 형성한 후 다시 寄生火山들을 형성시켰다.

주요 구성암은 花崗岩의 基底上⁷에 알칼리 玄武岩(alkali basalt), 하와이아이트(hawaiite), 무지어라이트(mugearite), 粗面岩(trachyte) 등이 분포되며, 玄武岩質 凝灰岩들과 火山岩質 碎屑物을 포함하는 小規模의 堆積岩들이 국부적으로 분포한다.

본도에 관한 최초의 지질학적 연구는 Nakamura(1925)에 의하여 이루어졌다. 또 Haraguchi(1931)는 본도에 대한 지질학적 연구로 地質系統을 제시하고 지질도를 작성하였다. 그 후 이상만(1966), 손치무(1968) 등이 지질학적, 岩石記載學的인 연구가 있었고⁸, 김봉균(1969, 1972)이 古生物學的인 연구를 했으며, 원종관(1975)은 지질 계통을 세웠다. 이문원(1982)은 岩石記載學的, 지구화학적 연구로 제주 화산암 전반에 걸쳐 성분을 상세히 분석하여 지질계통을 보다 세분화하고, 이에 따른 지질도를 작성하였다.⁹ 제주 화산암에 대해 행해진 화학 분석값¹⁰을 보면 Fe 성분은 지역에 따라 약간의 차이는 있으나 대략 Fe_2O_3 (1~3%), FeO(8~9%)의 화합물 중에 존재하고, 이들 화합물은 전체 화학 성분의 약 10%에 달하고 있다.

물성 연구에는 核磁氣共鳴(Nuclear Magnetic Resonance; NMR), 電子常磁性共鳴(Electron Paramagnetic Resonance; EPR), 核四重極子共鳴(Nuclear Quadrupole Resonance; NQR), Raman Spectroscopy, Mössbauer Spectroscopy 등이 이용되고 있으며, 특히 Mössbauer Spectroscopy는 소량의 Mössbauer 效果를 일으키는 핵에도 분해능이 우수하며 민감한 반응을 나타내므로 磁氣物理學, 물리금속학, 화학, 생물학은 물론 지질 연구나 광물 연구에도 많은 도움을 줄 수 있다.^{11,12}

최근 홍성락¹¹은 저지대에 분포하는 제주 화산암의 물성을 연구하여 제주 화산암과 달암석의 비슷한 성분으로 되어 있음을 확인하였다. 그러나 아직 광범위한 제주 화산암에 대한 물성 연구는 이루어지지 않았으며, 따라서 본 연구는 제주 화산암을 고도별로 채취하여 Möss-

bauer 效果를 이용하여 異性質體移動(isomer shift), 四重極子分裂(quadrupole splitting), 共鳴吸收面積(resonance absorption area) 등을 밝혀 이를 토대로 제주도 화산암의 연구를 위한 물리 불성적인 資料를 얻음은 물론, 산화철의 原子價 상태를 결정하고 先行된 제주 화산암에 관한 연구와 비교하였다.



II. 理 論

1. Mössbauer 效果

원자핵이 들뜬상태에서 바닥상태로 轉移를 일으킬 때 방출되는 광자는 에너지의 不確定性 때문에 단일 에너지가 아닌 어떤 線幅을 갖는 에너지를 갖게 된다. 이때 光子의 自然線幅(Γ)과 平均壽命(τ) 사이의 관계는 $\Gamma = \hbar / \tau$ (13) 이므로 그 폭과 수명은 에너지 공명현상에 의한 광자의 흡수와 재방출에 의하여 결정될 수 있다.

이러한 공명현상은 동일한 원자핵 사이에서 γ 선이 원자핵으로부터 방출되거나 흡수되는 경우 원자핵의 되튐 (recoil) 때문에 일반적으로 관측되지 않는다. 이는 핵의 들뜬상태에서 바닥상태로 轉移할 때 방출되는 γ 선의 에너지를 $\hbar\omega$, 핵의 되튐 운동량을 P_R 이라 하면, 운동량 보존 법칙에 의하면 $\hbar\omega / c = P_R$ 이고, 핵의 질량을 m 이라 하면 되튐에너지 E_R 가

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

만큼 존재하게 되어 실제핵의 전이 에너지는 E_R 만큼의 에너지 손실이 생기게 때문이다. 따라서 γ 선이 방출될 때뿐만 아니라 흡수될 때에도 에너지 손실이 있으므로 동종핵 사이에 공명현상이 일어나려면 $2E_R$ 만큼의 에너지가 보충되어야 한다.

그러나 되튐 에너지 E_R 은 γ 선 에너지의 자연선폭 Γ 보다 훨씬 크므로 방출 γ 선의 에너지와 흡수선의 에너지가 겹치지 않아서 자유 원자핵 사이에서는 공명현상이 일어나지 않는다. 그러나 1958년에 R. L. Mössbauer는 ^{191}Ir 에서 이 되튐 에너지가 없는 공명흡수가 일어난다고 할 수 있는 방법을 발견하였다. γ 선을 방출 또는 흡수하는 원자핵이 고체내에 구속되어 있는 경우에는 고체 전체가 되튐 운동량을 받기 때문에 $m \rightarrow \infty$ 로 볼 수 있어 되튐 에너지가 무시될 수 있으므로 되튐 없이 γ 선이 방출 또는 흡수될 수 있는데, 이런 현상을 Mössbauer 效果라 한다.

그러나 이것은 고체가 강체일 경우이며, 실제 고체는 탄성체이기 때문에 γ 선의 방출에 의해 탄성파가 나타난다. 이 탄성파, 즉 진동 에너지는 phonon이라는 알갱이로 양자화되어 있어 임의로 방출되지 않는다. 그러므로 고체가 γ 선으로부터 되튐 에너지를 받지 않는다는 것은 phonon 放出(emission)이 없다는 것을 의미하며 이 Zero-phonon process가 일어날 확률을 되튐 없는 確率(recoil free fraction), 또는 Lamb-Mössbauer factor f 라 한다. 결정체가 等方性(isotropic)인 경우 Debye Model을 적용하면 f 는

$$f = \exp \left\{ - \frac{3E_R}{2k_B\theta_D} \left[1 + 4 \left(\frac{\Gamma}{\theta_D} \right)^2 \int_0^{\theta_D} \frac{x dx}{e^x - 1} \right] \right\} \quad (2)$$

가 되며, 여기서 K_B 는 Boltzmann 상수, θ_D 는 Debye 온도이다.

$T \ll \theta_D$ 인 경우에는

$$f = \exp\left[-\frac{3}{2} \frac{E_R}{K_B \theta_D} \left(1 + \frac{2}{3} \pi^2 \frac{T^2}{\theta_D^2}\right)\right] \quad (3)$$

로 되고, $T \gg \theta_D$ 인 경우에는

$$f = \exp\left(-\frac{6E_R T}{K_B \theta_D^2}\right) \quad (4)$$

이 된다. 따라서 Mössbauer 효과가 일어날 수 있는 확률은 T 가 절대 온도 영도에 가까워질수록, 되튐 에너지 E_R 이 최대 phonon 에너지 $K_B \theta_D$ 보다 작을수록 커진다. 그런데 T 가 300 K 이상일 때에도 E_R 이 대단히 작은 값을 가지기 때문에 $6E_R T / K_B \theta_D^2$ 항의 값은 작다. 따라서로부터 $f \approx 1$ 이 되어 상온에서도 Mössbauer 효과가 일어난다.⁽¹⁴⁻¹⁹⁾

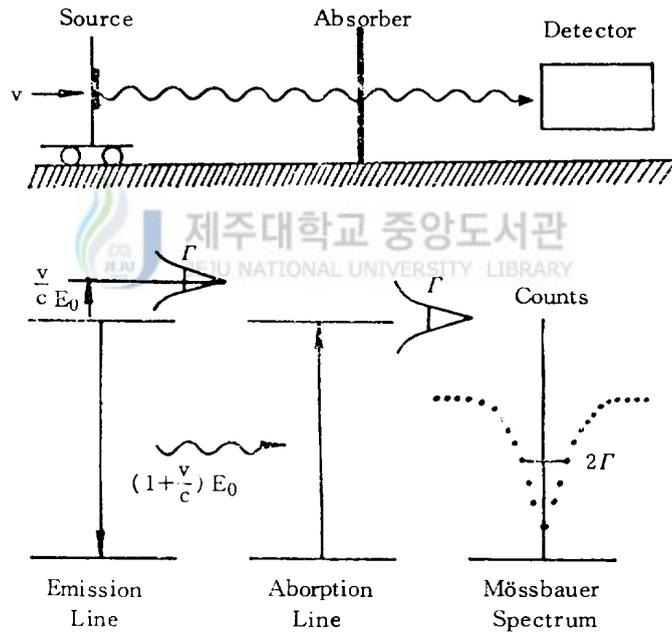


Fig.1 Resonant absorption, the basis of the Mössbauer effect

Fig.1은 Mössbauer 실험 장치의 기본 요소를 나타낸 것이다. Mössbauer 효과를 가지는 원소로부터 만드는 가장 중요한 요소는 되튐 없는 γ 선의 선폴이 지극히 좁다⁽²⁰⁾는 것이다. 지금까지 Mössbauer 효과를 나타내는 동위원의 수는 대략 80개나 되며, 관측된 Mössbauer 전이의 수는 100에 도달하고 있다.

이러한 원자핵의 γ 선 공조현상을 나타내는 Mössbauer 스펙트럼은 선원을 등가속 운동시켜 Doppler 효과에 의하여 γ 선 에너지를 증감시켜 흡수체의 에너지 준위 (energy level)와 같게 함으로써 얻어질 수 있다.^(21,22)

2. 異性質體移動 (isomer shift)

원자핵은 Ze 전하를 띠고 있으므로 주변에 있는 다른 전하와 coulomb 상호작용을 하게 되며, 이로 인하여 핵의 Energy 준위가 이동하게 된다.⁽²³⁾

만일 핵을 점으로 생각하면 거리 r인 점에서 정전기적 potential V_P 는

$$V_P = \frac{Ze}{r} \quad (5)$$

이다. 실제로 핵에는 어떤 크기가 있으므로 핵을 구체로 보아 그 반경을 R, 핵의 전하를 Ze라 하자. 거리 r이 $r \geq R$ 이면 potential은 (5)식과 같다. Ze가 R인 구에 고루 분포되어 있고 $r < R$ 이면 potential $V(r)$ 은

$$V(r) = \frac{Ze}{R} \left\{ \frac{3}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\} \quad (6)$$

이다. 그리고 핵 주위의 s전자의 밀도 ρ 가 일정하다고 하면, 핵 에너지 준위 shift δE 는

$$\begin{aligned} \delta E &= \int_0^\infty \rho \{ V(r) - V_P \} \rho \, dv \\ &= \int_0^R \rho \{ V(r) - V_P \} 4\pi r^2 \, dr \\ &= \frac{4\pi\rho Ze}{R} \int_0^R \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \frac{r^2}{R^2} - \frac{R}{r} \right) r^2 \, dr \\ &= -\frac{2}{5} \pi \rho Ze R^2 \end{aligned} \quad (7)$$

이 된다. $\rho = -e |\phi(0)|^2$ 으로 놓으면 (7)식은

$$\delta E = \frac{2}{5} \pi Ze^2 |\phi(0)|^2 R^2 \quad (8)$$

이 된다. 여기서 $|\phi(0)|^2$ 은 s전자의 확률밀도함수이다.

지금 γ 선을 방출하는 방사선원 (source)이 들뜬상태에서 핵반경 R_{ex} 와 바닥상태에서의 핵반경 R_{gr} 은 같지 않다. 본래의 전이 에너지를 고려하여 들뜬상태에서의 에너지 준위를 E_{ex} , 바닥상태에서의 에너지 준위를 E_{gr} , Source에서의 s 전자 확률밀도함수를 $|\phi_s(0)|^2$ 이라 하면

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

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

이므로 방사선원에서 γ 선이 방출될 때의 에너지는

$$(E_{ex} - E_{gr})_s = E_0 + \frac{2}{5} \pi Ze^2 |\phi_s(0)|^2 (R_{ex}^2 - R_{gr}^2) \quad (9)$$

이다.

마찬가지로 흡수체를 바닥상태에서 들뜬상태로 올리는 데 필요한 에너지는, 흡수체에서의 s 전자 확률밀도함수를 $|\phi_A(0)|^2$ 이라 하면

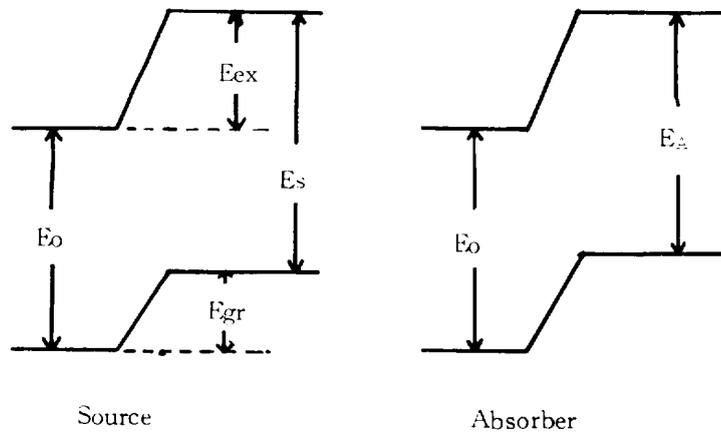
$$(E_{ex} - E_{gr})_A = E_0 + \frac{2}{5} \pi Ze^2 |\phi_A(0)|^2 (R_{ex}^2 - R_{gr}^2) \quad (10)$$

이 된다. 이때 방사선원에서 방출될 때의 γ 선의 에너지와 흡수체에서 전이에 필요한 에너지와의 차이를 異性質體移動 (isomer shift: I.S.) 이라고 하고 보통 속도의 단위로 표현한다. (24-27)

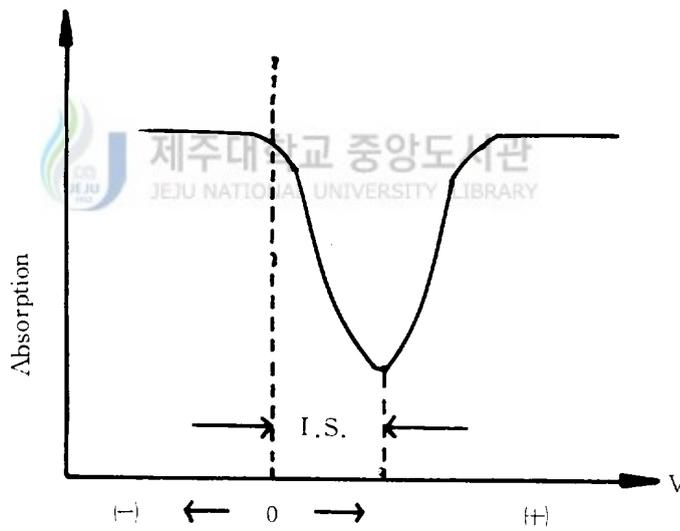
$$\begin{aligned} \text{I.S.} &= (E_{ex} - E_{gr})_A - (E_{ex} - E_{gr})_s \\ &= \frac{2}{5} \pi Ze^2 (|\phi_A(0)|^2 - |\phi_s(0)|^2) (R_{ex}^2 - R_{gr}^2) \end{aligned} \quad (11)$$

따라서 Mössbauer 실험에서 관측되는 스펙트럼은 Fig.2의 (b)와 같이 이성질체이동만큼 이동한 곳에서 공명흡수가 나타난다.

한편 Fig.3은 철을 내포한 여러 가지 물질에서의 ^{57}Fe 에 대한 이성질체 이동 (I.S)의 관측 범위를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 Fe 이온의 이온화 상태가 증가함에 따라 이성질체이동값은 감소한다. 이는 3d 전자수가 적을수록 3s 전자가 덜 가리워져서 핵에서의 s 전자 밀도가 커지는 것으로 설명할 수 있다. (28)



(a)



(b)

Fig 2 Origin of isomer shift

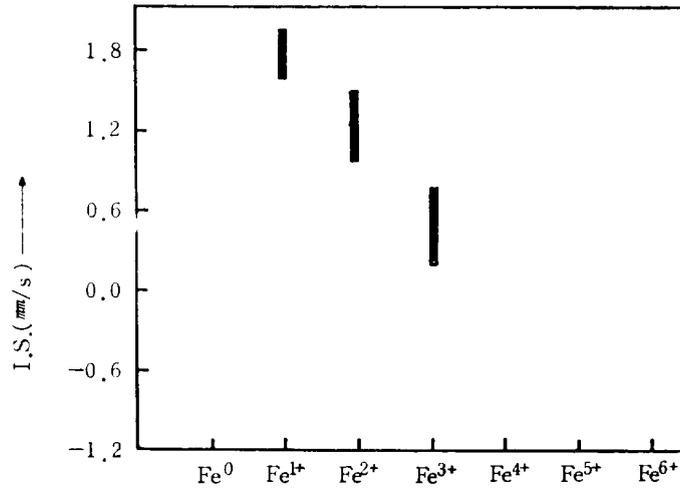


Fig.3 Values of Isomer shift(I.S.) for ⁵⁷Fe

3. 二次 도플러移動 (second order Doppler shift)

원자핵이 γ 선을 방출함으로써 들뜬상태로부터 붕괴할 때 원자핵은 에너지를 잃게 되어 Einstein의 질량과 에너지 관계식 $E = mc^2$ 에 의하여 질량이 감소하게 된다. 그런데 아무런 phonon도 방출하지 않은 경우 고체 전체가 되된 운동량을 흡수하기 때문에 원자핵의 열적 운동량은 변하지 않게 된다. 그러나 질량의 감소로 인하여 그 원자의 운동 에너지가 증가하게 되어 방출된 γ 선의 에너지는 에너지 보존법칙에 의하여 그만큼 감소하게 된다.

고체에서 지금 i 번째 원자핵이 에너지 E_0 인 γ 선을 방출했다면, 고체에 있어서 에너지 변화 δE 는

$$\begin{aligned} \delta E &= \delta \sum_i \frac{P_i^2}{2m_i} = -\frac{\delta m_i}{m_i} \left\langle \frac{P_i^2}{2m_i} \right\rangle \\ &= -\frac{h\nu}{m_i c^2} \left\langle \frac{P_i^2}{2m_i} \right\rangle = -\frac{h\nu}{m_i c^2} \left\langle \frac{1}{2} m_i v_i^2 \right\rangle = -\frac{E_0}{m_i c^2} T_i \end{aligned} \quad (12)$$

이다. 여기서 T_i 는 i 번째 원자의 운동에너지의 기대치, δm_i 는 원자핵의 질량 변화량, m_i 는 원자의 질량, ν 는 γ 선의 진동수이다. γ 선의 진동수 변화에 의한 γ 선 photon의 에너지 증가량 ΔE 는

$$h\Delta\nu = \Delta E = \delta E = \frac{h\nu}{m_i c^2} \left\langle \frac{1}{2} m_i v_i^2 \right\rangle = \frac{h\nu}{2c^2} \langle v_i^2 \rangle \quad (13)$$

로 표현된다. 여기서 모든 원자핵의 에너지가 동일하므로 첨자 i 를 제거하여 다시 표현하면,

$$h \Delta \nu = \frac{h\nu}{2c^2} \langle v^2 \rangle \quad (14)$$

이 해당하는 에너지 준위의 이동이 일어날 것이다. 이러한 에너지 준위의 이동은 흡수체와 방사체에서 모두 일어나며, 흡수체와 방사체의 에너지 이동치의 차이 δ 는

$$\delta_{s.o.d} = \frac{h\nu}{2c^2} [\langle v^2 \rangle_A - \langle v^2 \rangle_S]$$

로 표현되고 이것을 second order Doppler shift라 한다. 이때 $\langle v^2 \rangle$ 은 온도에 따라 변하므로 second order Doppler shift는 온도 의존성을 가진다.^(15:29) 따라서 온도에 따른 Mössbauer 스펙트럼 상으로 관측되는 center shift에는 second order Doppler shift에 의한 이동이 포함되어 있다. 결국 실험상 관측되는 center shift는⁽¹⁶⁾

$$\delta E_{c,s} = \delta E_{l,s} + \delta E_{s.o.d}$$

로 표현된다.

4. 四重極子 分裂 (quadrupole splitting)

일반적으로 핵은 균일한 구의 형태가 아니고 핵 주위의 전하가 균일하게 분포되어 있지 않으므로 電氣 四重極子 能率 (electric quadrupole moment; Q) 과 전기장 기울기 텐서 (electric field gradient tensor: ∇E) 의 상호작용에 의하여 四重極子 分裂 (quadrupole splitting) 이 일어난다. 핵전하 Ze 가 밀도 $\rho(\vec{r})$ 로 분포되는 경우에 핵과 핵 밖에 있는 다른 전하에 의한 靜電氣 퍼텐셜 (electrostatic potential)을 $V(r)$ 이라 하면 정전기적 상호작용 Hamiltonian은

$$H = \int \rho(\vec{r}) V(\vec{r}) d\vec{r} \quad (15)$$

이 된다. $V(\vec{r})$ 을 핵의 중심 ($\vec{r} = 0$)에서 Taylor series로 전개하고 셋째항까지만 고려하면

$$V(\vec{r}) = V(0) + \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial V}{\partial r_i} \right)_0 r_i + \frac{1}{2} \sum_{ij} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i \partial r_j} \right)_0 r_i r_j \quad (16)$$

이다. (16)식을 (15)식에 대입하면

$$H = ZeV(0) + \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial V}{\partial r_i} \right)_0 \cdot \int \rho(\vec{r}') r_i d\vec{r}' + \frac{1}{2} \sum_{i,j}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i \partial r_j} \right)_0 \cdot \int \rho(\vec{r}') r_i r_j d\vec{r}' \quad (17)$$

이 된다. 여기서 r_1, r_2, r_3 는 \vec{r}' 의 세 직교성분 x, y, z 를 나타낸다. 이 식의 첫째항은 핵의 양성자 전하가 중심에 모인 경우의 Coulomb energy로 상수에 불과하여 에너지 변화에 영향을 주지 않으며, 둘째항의 적분은 핵의 전기 쌍극자 항물에 해당하는데 이것은 parity와 각운동량이 확정되어 있는 핵의 경우에는 0이다. 셋째항은 $\vec{r} = 0$ 에서의 전기장 기울기인 $\partial^2 V / \partial r_i \partial r_j$ 와 핵의 4중극자 항물 $\int \rho(\vec{r}') r_i r_j d\vec{r}'$ 와의 상호작용을 표시하며, 좌표축을 적절히 잡으면 $i \neq j$ 일 때 $\partial^2 V / \partial r_i \partial r_j = 0$ 이고, $i = j$ 일 때는 $\partial^2 V / \partial r_i^2 \neq 0$ 이 된다. 전기장의 기울기는 2계의 대칭텐서이며 셋째항을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} H &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right)_0 \cdot \int \rho(\vec{r}') r_i^2 d\vec{r}' \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right)_0 \cdot \int \rho(\vec{r}') (r_i^2 - \frac{r^2}{3}) d\vec{r}' + \frac{1}{6} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right)_0 \cdot \int \rho(\vec{r}') r^2 d\vec{r}' \end{aligned} \quad (18)$$

한편 poisson 방정식

$$\sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right) = 4\pi e |\phi(0)|^2 \quad (19)$$

을 고려하면 (18) 식의 둘째항은 isomer shift에 해당한다. 따라서 첫째항만을 생각하기로 하고 이것을 E_Q 라 하면

$$E_Q = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r_i^2} \right)_0 \cdot \int \rho(\vec{r}') (r_i^2 - \frac{r^2}{3}) d\vec{r}' \quad (20)$$

$$= \frac{1}{4} V_{zz} \int \rho(\vec{r}') (3Z^2 - r^2) d\vec{r}' \quad (21)$$

이 된다. 이 때 V_{xx}, V_{yy}, V_{zz} 를

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

으로 표시하고, $V_{zz} \geq V_{xx} \geq V_{yy}$ 로 가정하면 非對稱 媒介變數 (asymmetric parameter) η 는⁽³⁰⁾

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

이다. 여기서 η 의 값의 범위는 $0 \leq \eta \leq 1$ 이다. $V_{xx} \neq V_{yy} \neq V_{zz} (\eta \neq 0)$ 인 경우 핵의 spin 양자수 I 와 자기양자수 m 을 이용하면 (21) 식은

$$E_Q = \frac{1}{4} V_{zz} eQ \left(1 + \frac{\eta^2}{3} \right)^{1/2} \left\{ \frac{3m^2 - I(I+1)}{I(2I-1)} \right\} \quad (22)$$

로 표시할 수 있다. 여기서 Q 는 전기 4 중극자 모멘트이다. 전기장 기울기 (E.F.G)가 축 대칭일 때, 즉 $V_{xx} = V_{yy}$ 일 때는 $\eta = 0$ 이 되어 (22)식은

$$E_Q = \frac{1}{4} V_{zz} eQ \left\{ \frac{3m^2 - I(I+1)}{I(2I-1)} \right\} \quad (23)$$

이 된다.

^{57}Fe 의 경우를 생각해 보면 ^{57}Fe 의 기저상태는 spin이 $I = \frac{1}{2}$ 이므로 $Q = 0$ 이다. 따라서 이 경우 $E_Q = 0$ 이며 첫번째 여기상태에서는 $I = \frac{3}{2}$ 이며, 자기 양자수 $m = \pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}$ 이므로 이 준위가 4개의 준위로 갈라지나 실제로는 2개의 준위로 갈라진다. 이들 두 준위 간의 에너지차 δE_Q 를 四重極子 分裂 (quadrupole splitting; Q.S.)이라 하며, Fig 4와 같다. Q.S.를 계산하면,

$$Q.S. = \delta E_Q = \frac{1}{2} V_{zz} eQ \sqrt{1 - \frac{\eta^2}{3}} \quad (24)$$

이다.⁽³¹⁾ 축대칭 전기장의 기울기 ($\eta = 0$)일 때 $I = \frac{3}{2}$, $m = \pm \frac{3}{2}$ 및 $m = \pm \frac{1}{2}$ 을 식 (23)에 대입하면 다음과 같이 2개의 준위로 갈라지는 것을 알 수 있다.

$$\delta E_{Q \frac{3}{2}, \pm \frac{3}{2}} = \frac{eV_{zz}Q}{4}, \quad \delta E_{Q \frac{3}{2}, \pm \frac{1}{2}} = -\frac{eV_{zz}Q}{4} \quad (25)$$

여기론 에너지 준위가 갈라지면 기저상태와의 천이에서 Mössbauer 스펙트럼에는 2개의 peak가 나타나고 이들 두 peak의 중심점으로부터 I.S.를 구하며, Q.S.의 값은 다음과 같이 된다.⁽³²⁾

$$Q.S. = (\delta E_{Q \frac{3}{2}, \pm \frac{3}{2}}) - (\delta E_{Q \frac{3}{2}, \pm \frac{1}{2}}) = \frac{1}{2} eV_{zz} Q \quad (26)$$

모든 최대 전기장 기울기 $eQ = V_{zz}$ 이므로 (26)식은

$$Q.S. = \frac{1}{2} e^2 qQ \quad (27)$$

와 같이 표현할 수 있다.⁽³³⁾ 최대 전기장 기울기는 qr^{-3} 에 비례하는데, 여기서 q 는 핵과 핵주위 다른 이온들의 전하이므로, r 은 핵과 전하 사이의 거리이다. 따라서 Q.S.의 측정치로부터 q 와 η 에 관한 정보 즉 원자핵에 작용하는 전기장에 대한 정보를 얻는다.

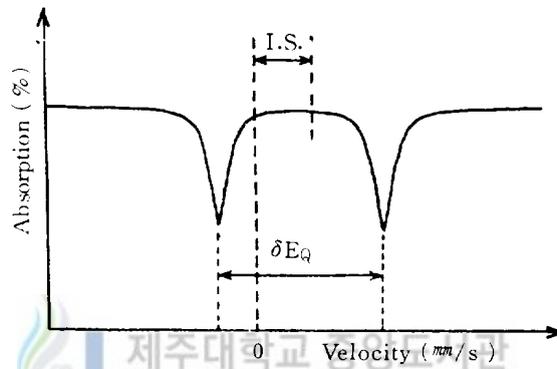
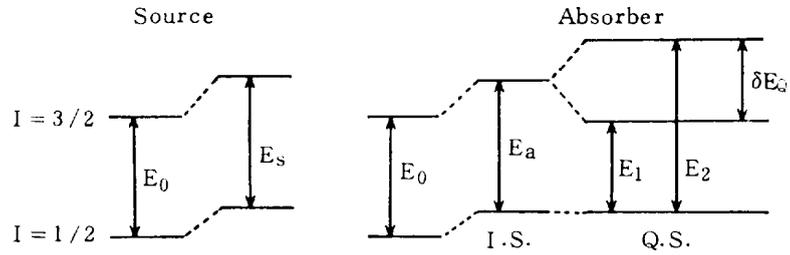


Fig. 4. Quadrupole Splitting of ^{57}Fe

5. Magnetic Hyperfine Splitting

원자핵이 磁氣雙極子能率 (magnetic dipole moment) μ 는 핵에 존재하는 자기장 H 와의 상호작용에 의하여 핵의 에너지 준위를 분열시켜 Zeeman 效果를 일으킨다. 이 때 상호작용 Hamiltonian 은

$$H_m = -\vec{\mu} \cdot \vec{H} = -g_N \mu_N \vec{I} \cdot \vec{H} \quad (28)$$

여기서 g_N 은 핵의 Lande' 분열인자 (nuclear Lande' Splitting factor) 이고, μ_N 은 핵

핵자 (nuclear magneton) 이다. \vec{H} 의 방향을 量子化軸 (quantization axis)로 잡으면 원자핵 에너지 준위는 (34)

$$E_{m_i} = -g_N \mu_N I m_i \quad (m_i = I, I-1, \dots, -I) \quad (29)$$

이므로 (29) 식에 의하여 에너지 준위는 $2I+1$ 개의 副準位 (sublevel)로 갈라진다. ^{57}Fe 의 예를 들면 Fig.5의 (a)와 같이 바닥상태 ($I=\frac{1}{2}$, $g_N = 0.1808$)는 2개의 부준위로 갈라지고 14.4 keV의 들뜬상태 ($I=\frac{3}{2}$, $g_N = -0.1033$)는 4개의 부준위로 갈라진다. 이 경우 바닥상태와 들뜬상태 모두 反轉性 (parity)이 음이므로 선택규칙에 의해 磁氣雙極 轉移와 電氣四重極 轉移가 가능하나, 실제로는 電氣四重極 轉移는 거의 없고, 磁氣雙極 轉移만이 존재한다.

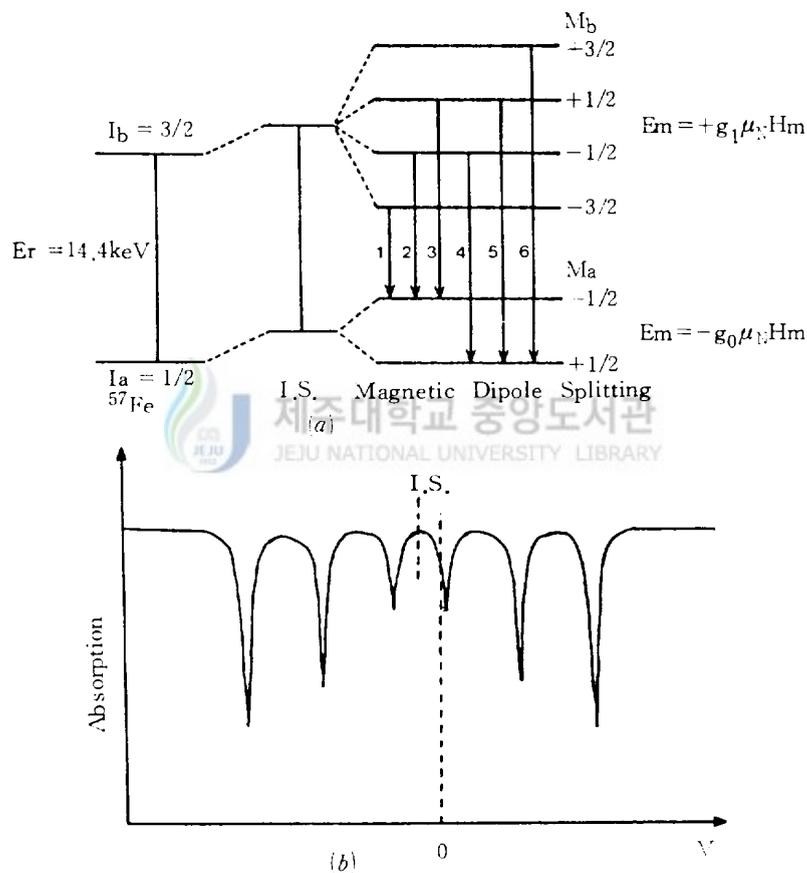


Fig.5 a) Magnetic hyperfine splitting
b) Mössbauer spectrum of magnetic hyperfine splitting

Table 1. Transition of γ -ray energy between excited state and ground state in ^{57}Fe of 14.4 keV

전이 ($M_b \rightarrow M_a$)	에너지 변화	角의 조성
$\frac{3}{2} \rightarrow \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} (3g_1 + g_0) \mu_N H$	$\frac{1}{2} (1 + \cos^2\theta)$
$\frac{1}{2} \rightarrow \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} (g_1 + g_0) \mu_N H$	$\frac{3}{2} \sin^2\theta$
$\frac{1}{2} \rightarrow \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} (g_0 - g_1) \mu_N H$	$\frac{1}{6} (1 + \cos^2\theta)$
$\frac{1}{2} \rightarrow -\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2} (g_0 - g_1) \mu_N H$	$\frac{1}{6} (1 + \cos^2\theta)$
$-\frac{1}{2} \rightarrow -\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2} (g_1 + g_0) \mu_N H$	$\frac{2}{3} \sin^2\theta$
$-\frac{3}{2} \rightarrow -\frac{3}{2}$	$-\frac{1}{2} (3g_1 - g_0) \mu_N H$	$\frac{1}{2} (1 + \cos^2\theta)$

따라서 이 때의 선택규칙은 $\Delta M = 0, \pm 1$ 이며 이 조건을 만족하는 전이의 수는 6개이다. Table 1은 ^{57}Fe 의 14.4keV의 들뜬상태와 바닥상태 사이에 허용된 γ 선 전이의 각 분포와 자기쌍극자 상호작용으로 인한 γ 선 에너지의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 g_0, g_1 은 ^{57}Fe 의 제 1 들뜬상태와 바닥상태의 nuclear g factor이고, θ 는 자기장과 γ 선 방향 사이의 각이며, H는 내부 자장이다. 그런데 내부 자장은 물질과 온도에 따라 변화한다. 또한 γ 선의 진행 방향과 자기장 사이의 각에 따라 γ 선의 세기가 변함을 알 수 있다.

Fig.5에 의하면 흡수체에서의 공명 흡수 과정을 보면 γ 선원을 도플러 효과에 의하여 에너지 증감을 시켜 이 방출 γ 선을 도플러 에너지의 여하에 따라서 6개의 흡수선과 공명이 가능하게 된다. 흡수체를 고정시켜 놓고 γ 선을 상대 속도 v 로 움직여 주면 γ 선은 도플러 이동(Doppler shift)으로써 $\Delta E = E \frac{v}{c}$ 만큼의 에너지 이동이 생기게 된다. 이것이 γ 선 에너지에 가감되어 흡수선의 에너지 준위와 일치하게 되면 공명흡수가 일어나게 된다. 즉 Doppler 이동 $\Delta E = E \frac{v}{c}$ 가 $E \frac{v}{c} = \frac{3}{2} g_1 \mu_N H + \frac{1}{2} g_0 \mu_N H$ 이면 방출선은 제일 큰 에너지와 공명을 일으키게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 식으로 자연철의 6개의 resonant peak를 관측하는 것이 가능하며, 이 원자의 초미세 자기장 H는

$$H = \frac{\Delta E}{(3g_1 + g_0) \mu_N}$$

이므로 잘라내 수려할 수 있다. 일반적으로 H값은 물질과 온도에 따라 변화한다.^{35,36)}

6. 제주도의 형성 과정과 화산암의 화학적 특징

제주도는 지형 및 지질학적인 특징에 의하여 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 첫째 고도 약 400 m 이하의 해안 저지대의 편평한 지역, 둘째 섬의 중심 부근에 위치한 허발 1950 m의 한라산계, 셋째 섬의 여기저기에 산재되어 분포하고 있는 높이 50~200 m 정도의 기생화산이다. 제주도의 형성 과정은 이 세가지의 지형 및 지질학적인 특징과 부합되어 이루어졌다.⁽³⁷⁾

제주도는 적 3기 말 이전에는 바닷물 위에 나타나지 않았으나 그 후 화산 활동으로 말미암아 대략 수 10~수 100 m 정도의 편평한 섬이 바닷물 위에 나타났다. 이때 섬의 주변에는 火山碎屑物의 퇴적으로 말미암아 화석이 포함된 석회포층을 만들었다. 이 시기는 섬이 매우 불안정하여 상하 운동을 몇 번 하였던 것으로 보인다.⁽³⁸⁻⁴⁰⁾

그 후 계속된 화산 활동으로 우동성이 큰 현무암질 용암을 다량 분출하였으며, 화산 분출형을 하와이 식으로 큰 폭발은 없었다. 그래서 지금의 해안 저지대의 편평한 지역을 만들었다. 그 후 얼마간의 휴식이 있은 후 다시 화산 활동이 시작되었는데, 섬의 중심부에서 1600 m의 한라산계를 만들었으며, 섬 자체를 옮기시켰다. 이 단계에서는 화산 분출 형식이 스트롬볼리 식으로 변화했다. 또 용암이 점성도도 약간 커져서 경사를 갖는 지형을 만들었다. 그리고 최종적으로 한라산 정상 위에 화구를 띠으면서 높이 300 m의 종 모양의 용암돔을 만들었다. 한라산계가 만들어지는 때와 거의 동시 또는 그 이후에 전도에 걸쳐 화산 활동이 시작되어 360 개 가량의 기생화산을 만들었다. 이 때는 맹렬한 폭발을 수반하는 스트롬볼리식 분화를 하였으며 많은 火山碎屑物을 분출하였다.⁽⁴¹⁾ 그 이후에도 화산 활동은 국지적으로 계속되어 왔는데, 지형적으로 뚜렷한 변화는 없었다. 문헌에 의하면 역사 시대 이후로는 고려 중엽 서기 1002년, 1007년까지도 본도에서 화산 폭발이 있었음이 기재되어 있다.⁽⁴²⁾

제주도 화산암은 하와이섬의 알칼리암과 같이 K_2O 에 비해서 Na_2O 가 많아서 Na 계열에 속한다. 제주 화산암의 명칭은 SiO_2 양에 따라 알칼리 玄武岩 (SiO_2 함량, 50% 이하), 하와이아이트(SiO_2 , 50%전후), 무지어라이트 (SiO_2 , 52~54%), 粗面岩 (SiO_2 , 57%이상) 등으로 구분다.

제주도의 화산암은 95%정도가 SiO_2 가 47%~51%의 범위를 갖는 알칼리 현무암과 하와이아이트로 구성되어 있으며 나머지는 SiO_2 가 54%~65%에 속하는 무지어라이트와 조면암 등이다.⁽⁴³⁾

Table 2는 각 암형에 따라 제주 화산암의 대표적인 화학 성분 값을 나타낸 것이다.⁽¹⁰⁾

Table 2. Chemical analysis of cheju volcanic rock

	Alkalibasalt	Hawaiiite	Mugearite	Trachyte
SiO ₂	48.49	50.93	55.31	65.54
TiO ₂	2.39	2.40	1.48	0.28
Al ₂ O ₃	15.14	18.00	18.15	16.28
Fe ₂ O ₃	1.62	2.36	1.89	2.50
FeO	8.78	8.50	7.50	0.94
MnO	0.17	0.15	0.14	0.12
MgO	9.00	3.21	2.27	0.13
CaO	8.19	6.41	4.48	1.07
Na ₂ O	3.25	4.61	4.97	6.04
K ₂ O	1.93	2.11	2.95	5.63
H ₂ O*	0.60	0.31	0.23	0.54
H ₂ O	0.23	0.17	0.38	0.08
P ₂ O ₅	0.55	0.58	0.97	0.03
Total	100.34	99.78	99.59	99.63

제주대학교 중앙도서관

여기서 보는 바와 같이 압형에 따라서 가장 큰 변화폭 보이는 성분은 SiO₂ 성분으로 이는 용암의 점성도와 관계가 있는 것이다. 따라서 용암이 분출될 때 화산 지형을 결정하는 요소가 된다. 즉 SiO₂ 함량이 많은 조면암류는 경사가 급한 Dome 구조의 화산체를 만들며, SiO₂ 함량이 적은 현무암류는 경사도가 완만한 지형을 만든다.

또한 Table 3에는 제주 화산암을 구성하는 주요 광물인 olivine, pyroxene의 화학 분석치를 나타냈다.⁴⁴⁾

제주도의 형성 과정에서 편성된 용암대지를 만든 단계는 주로 알칼리 현무암과 하와이아이트 용암이 분출하고, 한라산체를 이루는 화산암은 대부분 하와이아이트이다. 또 해안 저지대의 화산암은 갈탄석이 제일 많으며, 한라산체를 이루는 화산암은 斜長石도 많이 포함하고 있으며 뚜렷한 斑晶組織을 나타낸다.

Table 3. Chemical analysis of olivine and pyroxene in inclusion bearing alkali basalt

	Olivine	Pyroxene
SiO ₂	36.27	52.06
FeO	33.30	9.01
MnO	0.56	-
MgO	29.50	14.79
CaO	0.41	19.93
NiO	0.10	
TiO ₂	-	1.19
Al ₂ O ₃	-	2.91
Na ₂ O	-	0.73
Total	100.15	100.62
Atomic %		
Mg	61	43
Fe	39	15
Ca	-	42



Ⅲ. 實 驗

1. 시료 제작

제주도에 분포하고 있는 화산암은 橄欖石(olivine), 輝石(pyroxene), 斜長石(plagioclase)이 주된 광물이며, 이외 티탄철광(ilmenite)과 적은 양의 磁鐵石(magnetite), 그리고 磷灰石(apatite)으로 되어 있다.⁽⁴³⁾ 감람석은 중요한 조암 규산염 광물로서 화학 조성은 $(Mg, Fe)_2 SiO_4$ 이고, Mg가 많은 것은 고토 감람석(forsterite)이라 하며, Fe가 많이 포함되어 있는 것은 철 감람석(fayalite)이라 부른다. 휘석은 조암 규산염 광물의 일종으로 화학 조성은 $M_2^{II} (SiO_3)_2$ 로 표현되며, 여기서 M^{II} 는 Fe^{II}, Mg, Ca 이다.⁽⁴⁵⁾

따라서 본 실험에서는 Fe 성분이 함유되어 있는 제주 화산암에 대한 Mossbauer 공명 흡수선을 조사하기 위하여 고도별로 각각 210 m (Sample A), 400 m (Sample B), 600 m (Sample C), 900 m (Sample D), 1100 m (Sample E)의 5개 지역에서 공기와 비교적 접촉이 적은 신선한 화산암을 채취한 후 각자사발에서 고운 분말(직경 0.05 mm 이하)이 되지 분쇄하여 시료로 사용하였다. 이 때 시료는 직경 3 cm, 두께 2 mm의 pallet으로 만든 다음 시료의 산화와 수분의 침입을 막기 위하여 스카치 테이프로 봉하여 사용하였다.

2. 실험 장치

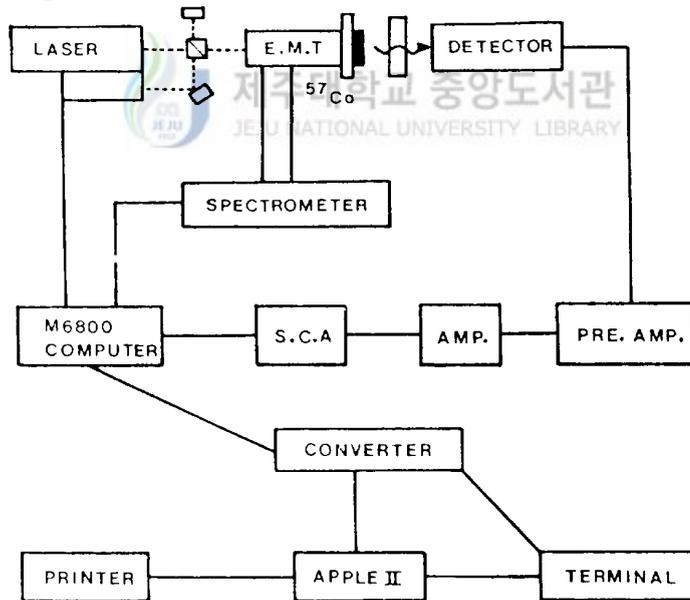


Fig.6 Block diagram of Mössbauer spectrometer

본 실험에서 사용한 Mössbauer spectrometer는 Austin사(S-600)의 증가속도형으로 전기역학적인 drive system을 사용하였다.⁴⁶⁾ 또한 이 spectrometer는 Motorola 6800 computer로 제어되며 그 거략도는 Fig.6와 같다.

Motorola 6800에 의해 제어된 spectrometer는 drive moter를 구동시켜 원하는 속도로 증가속도 왕복운동을 시키며 이 때 drive moter의 진동자 끝에 부착된 γ 선원은 Doppler effect에 의하여 $\Delta E = \pm \frac{v}{c} E\gamma$ 의 에너지를 얻게 된다. 이 Doppler 에너지가 가감된 γ 선은 흡수체를 통과하여 검출기에 들어와 전기적 신호로 바뀐다. 검출기는 Xe-CO₂가 혼합된 기체를 사용한 비례계수기로써 1850 V의 전압을 부과하였다. 이러한 전기적 신호는 preamplifier에 의해 증폭되어 single channel analyzer에서 14.4 keV에 해당하는 에너지만을 통과시켜 Motorola 6800 computer의 channel에 대응하는 속도의 계수로 측정된다. 실험에 사용한 γ 선원은 palladium에 dope시킨 10mCi의 ⁵⁷Co이며, ⁵⁷Co 붕괴에 의한 에너지 천이 과정은 Fig.7과 같다. 여기서 14.4 keV의 천이 에너지를 Mössbauer 스펙트럼 측정용 γ 선원으로 사용한다. Fig.7과 같이 3/2 상태에서 들뜬 시간은 1.4×10^{-7} sec 이므로 Heisenberg의 시간-에너지 불확정성 원리 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ 으로부터 $\Delta E = \Gamma = \hbar / \tau = 4.67 \times 10^{-9}$ eV가 된다. γ 선원의 Doppler 속도는 helium-neon 레이저를 광원으로 하

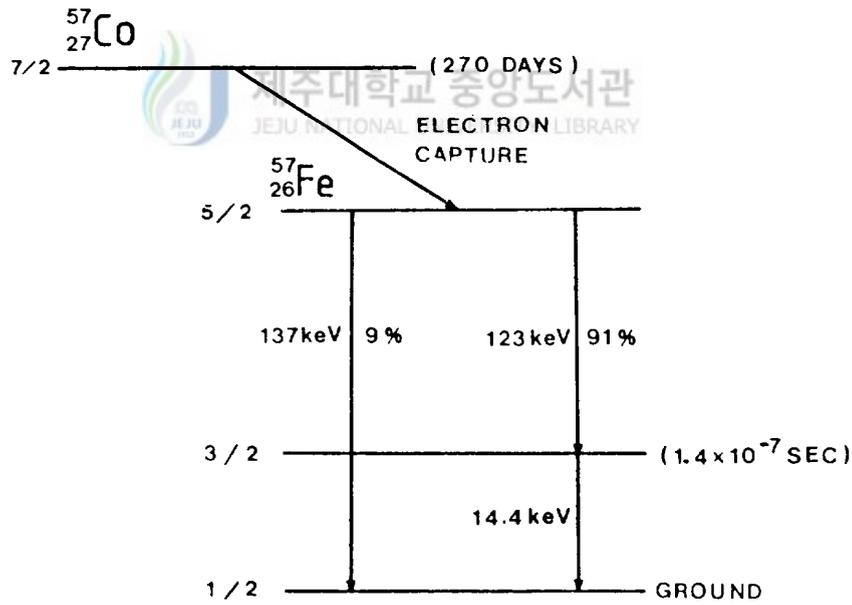


Fig. 7 Decay scheme of ⁵⁷Co

한 Michelson 간섭계를 사용하여 Fe에 대한 상대 속도를 정밀하게 측정할 수 있도록 하였다. 따라서 흡수체를 통과한 γ 선 에너지와 γ 선의 Doppler 속도는 동시에 측정되어 Motorola 6800 computer에 Apple II computer를 연결시켜 누적된 자료는 Apple II computer로 이송시킬 수 있도록 하였다.

3. 실험 방법

본 실험에서는 γ 선원과 검출기 사이를 120 mm로 하고 약 48 시간 동안 공명 흡수선을 측정하여 측정 계수가 2×10^5 까지 되도록 하였다. 실험은 먼저 시료내에 존재하는 모든 흡수선을 조사하기 위하여 ± 10 mm/s의 Doppler 속도에서 스펙트럼을 측정하였으며 다시 Doppler 속도를 ± 5 mm/s로 감속시켜 관측된 스펙트럼을 세밀히 측정 하였다. 측정이 끝난 후 Motorola 6800 computer에 누적된 자료들은 converter를 통하여 Apple II computer로 이송시켜 미니 플로피 디스크에 수록하여 분석하였다.



IV. 結果 및 論議

1. Mössbauer 스펙트럼

고도별로 5개 기역에서 Sample A, B, C, D, E를 채취하여 상온에서 측정된 Mössbauer 스펙트럼은 Fig.8 과 같다.

이들 자료의 Mössbauer 스펙트럼을 最小自乘法 (least square method)으로 Lorentzian curve에 fitting시켰으며 computer program의 parameter는 공명 흡수점 에너지 E_0 , 선폭 Γ_0 , 흡수 peak 점 I_0 및 base line 등을 결정하여 Lorentzian line shape 식

$$I(E) = \sum_{i=1}^3 I_i \frac{\left(\frac{\Gamma_i}{2}\right)^2}{\left(\frac{\Gamma_i}{2}\right)^2 + (E - E_i)^2}$$

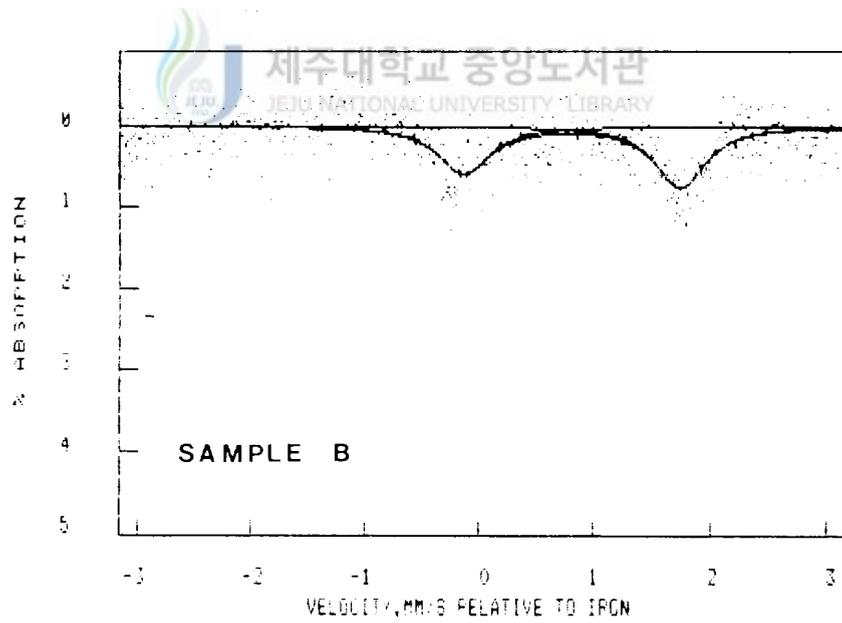
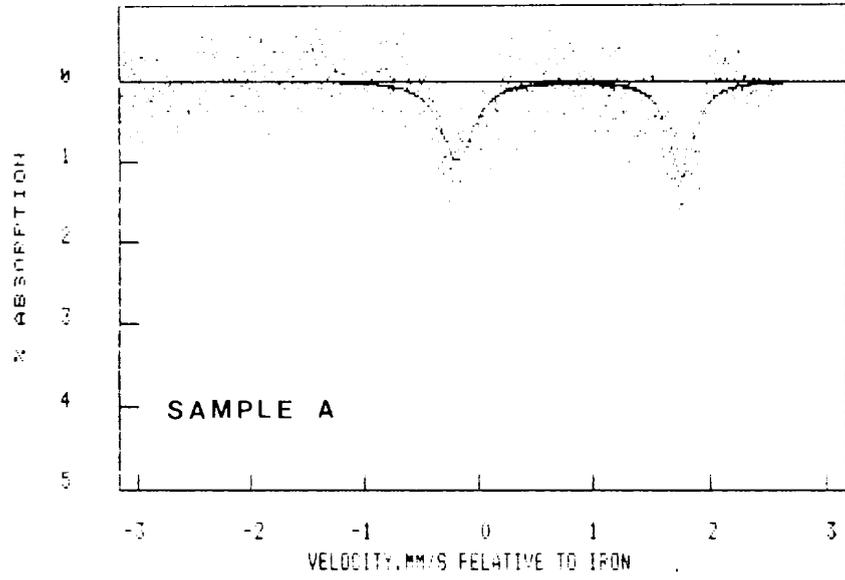
에 Data를 fitting시켜 E_i , Γ_i 및 I_i 를 구한 다음

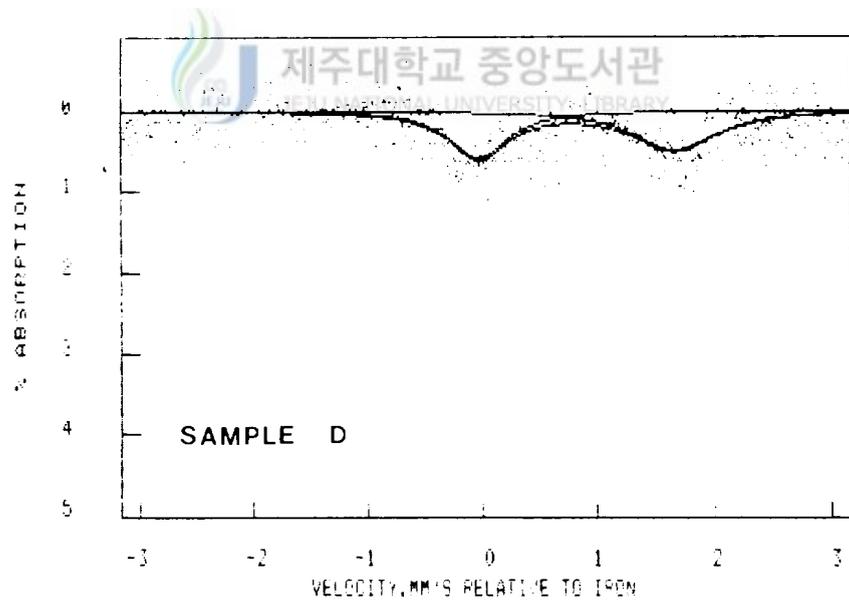
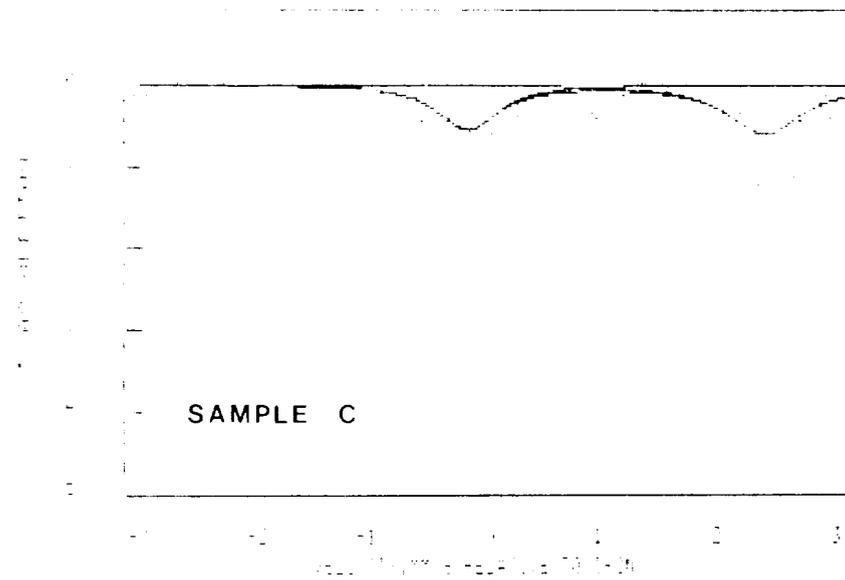
$$I.S. = \frac{E_1 + E_2}{2}, \quad Q.S. = E_2 - E_1, \quad A = \frac{\pi}{2} I_1 \Gamma_1$$

의 식에 대입하여 각 자료에 대한 상온에서의 isomer shift, quadrupole splitting 및 공명 흡수면적을 구하여 Table 4에 실었다.

Table 4. Mössbauer parameters of samples for increasing altitude

Sample	Isomer Shift ($m\pi/s$)	Quadrupole Splitting ($m\pi/s$)	Absorption Area
A	0.789	1.948	0.345
B	0.808	1.874	0.384
C	0.954	2.182	0.399
D	0.825	1.697	0.431
E	0.956	2.178	0.633





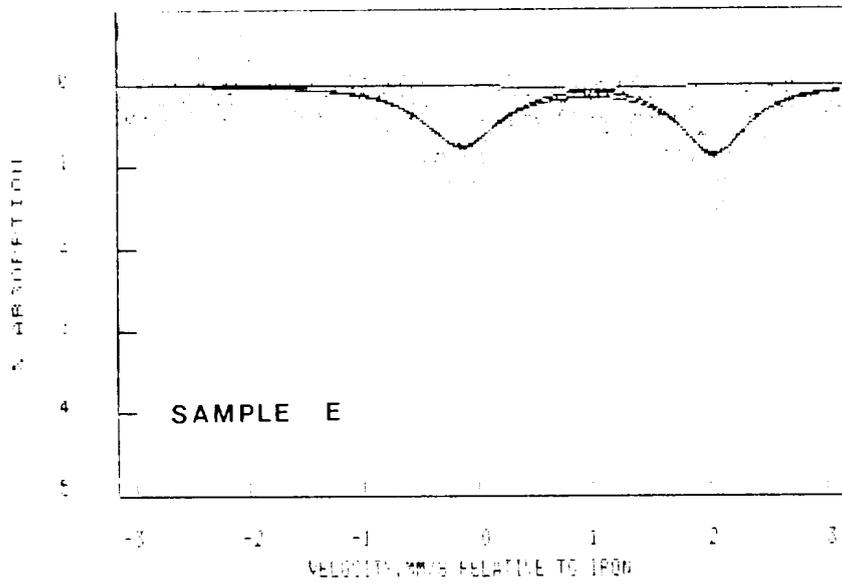


Fig. 8 Mössbauer spectra of sample for increasing altitude



각 시료의 Mössbauer 스펙트럼은 Magnetite 에 의한 Magnetic hyperfine splitting 은 존재치 않고, 주로 olivine, pyroxene, 그리고 ilmenite 에 의한 흡수선으로 해석할 수 있었다. 스펙트럼은 활상의 quadrupole splitting 만 나타나는데, 이것은 olivine, pyroxene, ilmenite 에 의한 공명흡수선의 중첩으로 해석할 수 있었다. 또 스펙트럼들은 거의 비슷한 모양을 나타내고 있는데 이것은 각 시료의 구성 광물이 거의 같음을 말해 주고 있다.

2. 異性質體移動

각 지역의 異性質體移動의 값은 Table 4에 보인 바와 같이 $0.789 \text{ mm/s} \sim 0.956 \text{ mm/s}$ 로 0.1에 관계 없이 거의 비슷하다. Fig.9는 코코넛로 각 Sample의 isomer shift 값을 나타낸 것이다.

일반 대표적인 isomer shift 값이 Fe^{3+} 이산화는 $\sim 0.6 \text{ mm/s}$, Fe^{2+} 는 $\sim 1.6 \text{ mm/s}$ 임⁽⁴⁸⁻⁵²⁾을 감안하면 시료에 존재하는 철 ion의 양자가 상태는 Fe^{3+} 보다는 Fe^{2+} 이므로 제주 화산암의 함유된 Fe 상태는 거의 Fe^{2+} 임을 알 수 있다.

또한 Fe는 거의 이온상태인 Fe^{2+} 로 존재함은 공기과 비교적 접촉이 적은 화산암 시료를 사용했기 때문으로 생각된다. isomer shift가 주로 s전자 밀도의 영향을 크게 받는다라는 점을 고려하면 각 지역의 isomer shift 값이 큰 차이가 없으므로 화산암에 함유된 광물이 거의 동일한 화학 구조를 갖고 있음을 의미한다.

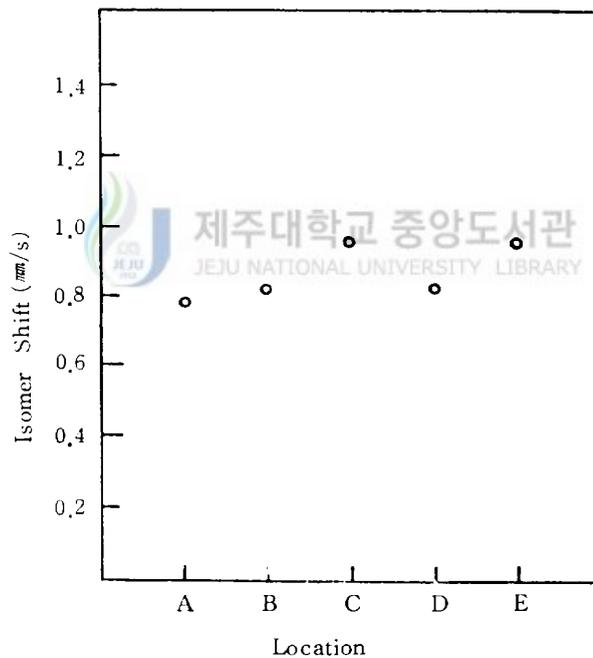


Fig.9 Isomer shift vs. sampling location for increasing altitude

3. 四重極子 分裂

Fig.10은 고도별로 각 Sample의 quadrupole splitting 값을 나타낸 것인데 그 값은 1,697 mm/s ~ 2,182 mm/s 의 범위이다.

대표적으로 알려진 Q.S. 의 값이 Fe^{3+} 의 ~ 0.9 mm/s, Fe^{2+} 에 대해서는 1.0 ~ 3.4 mm/s^(35,53) 로 부터도 제주 화산암에 들어 있는 Fe 성분은 Fe^{2+} ion 상태로 존재함을 알 수 있다. 지코 채취 지역에 따른 quadrupole splitting 값은 ^{57}Fe 핵 주위의 전기장 기울기에 의한 영향이 크게 작용하게 되고 이 전기장 기울기는 핵 주위의 전하나 이온 분포에 많은 영향을 받게 된다. 따라서 각 고도별 제주 화산암의 quadrupole splitting 값이 거의 비슷하다는 것은 고도별로 화산암을 구성하는 광물의 화학 조성이 거의 동일하게 이루어져 있다는 것이며, 이 점은 선행된 제주 화산암에 대한 化學分析結果⁽⁴³⁾ 와도 좋은 일치를 보여 주고 있다.

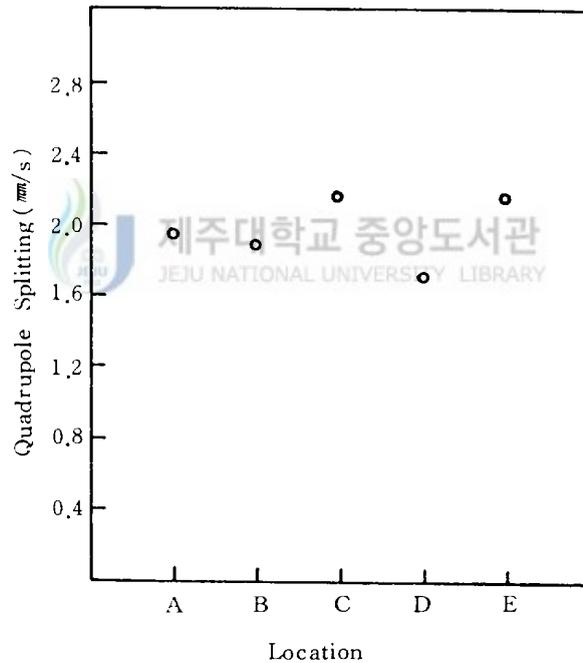


Fig.10 Quadrupole splitting vs. sampling location for increasing altitude

4. 共鳴吸收面積

Mössbauer 스펙트럼의 공명흡수면적은 시료에 함유되어 있는 Fe의 양과 관계가 있다. 즉 Fe의 함량이 증가하면 공명흡수면적이 커진다.⁵⁴⁾ 따라서 화산암에 함유된 광물의 공명흡수면적을 계산하면 고모벌 화산암에 들어 있는 Fe의 양을 비교할 수 있다. Fig.11은 고모벌의 Sample에 대한 공명흡수면적의 크기값 나타낸 것인데, 그 값은 0.345 ~ 0.633의 범위를 가지며 고모가 높아짐에 따라 공명흡수면적도 커짐을 보여 주고 있다. 이러한 결과는 제주 화산암의 Mössbauer 분석을 통해 알려진 한라산 정상으로 갈수록 Fe₂O₃가 증가한다는 연구결과⁵⁵⁾ 및 높은 지역의 제주 화산암일수록 olivine 중에 철을 다량 포함한 fayalite가 많이 존재 한다는 사실⁵⁶⁻⁵⁷⁾을 뒷받침해 주고 있다.

한편 기존에 연구⁴⁷⁾된 허안 저지대의 화산암의 공명흡수면적을 보면 주로 감람석과 휘석에 의한 것임을 볼 때, 각 시료의 공명흡수면적 역시 감람석과 휘석에 의한 것으로 추측할 수 있다. 이 점은 화산암에 함유되어 있는 Fe가 주로 감람석과 휘석에 포함되어 있음을 나타내는데, 앞서서 언급한 바와 같이 제주 화산암의 구성 광물이 olivine과 pyroxene이 가장 큰 비중을 차지하므로 이 두 광물에 가장 많은 Fe가 있을 거라는 추측이 타당성이 있음을 시사한다.

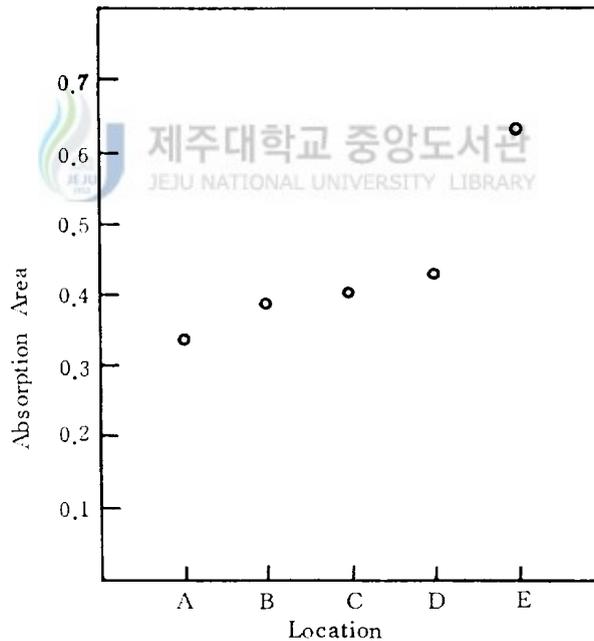


Fig.11 Absorption area vs. sampling location for increasing altitude

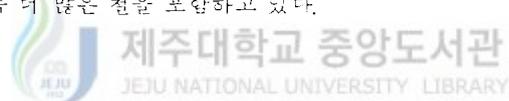
V. 結 論

본 연구는 고도별로 분포되어 있는 제주 화산암을 Mössbauer 스펙트럼 분석을 통해 화산암을 구성하는 광물인 olivine, pyroxene, ilmenite 배의 Fe 이온의 분포를 조사하였다.

1. 고도에 따른 제주 화산암의 Mössbauer 스펙트럼은 olivine, pyroxene, ilmenite 에 의해 거의 중첩되어 나타났으며, 주로 olivine 에 의한 한쌍의 quadrupole splitting을 나타낸다.

2. 고도에 따른 제주 화산암의 isomer shift 값과 quadrupole splitting 값으로부터 화산암에 함유된 Fe 는 약간의 Fe^{3+} 를 제외하고는 거의 모두가 Fe^{2+} 로 존재함을 확인하였다.

3. Mössbauer 스펙트럼의 공명흡수면적은 고도가 증가함에 따라 증가하므로 높은 지역의 제주 화산암일수록 더 많은 철을 포함하고 있다.



REFERENCES

- 1) 김봉만; 기질학회지(대한기질학회), 5(2): 103(1969)
- 2) 서수모; "서수모지(상권)", 521(1982)
- 3) 윤정수, 고기원; 한국천양학회지, 22(3): 103(1987)
- 4) 한상준, 윤호일, 박병권; 한국천양학회지, 22(1): 1(1987)
- 5) 김동주; 석사학위논문, 전남대학교, (1988)
- 6) 이경노; "지구과학개론", 과학연구사, 338(1984)
- 7) 김학거; "지형학", 범문사, 359(1981)
- 8) 윤선; 기질학회지, 6(4): 205(1970)
- 9) 이병조; 석사학위논문, 전북대학교 교육대학원, (1987)
- 10) 이문원; 한국지구과학교육연구회지, 6(1): 49(1985)
- 11) 홍성락; 제주대학교 논문집(자연과학편), 24; 53(1987)
- 12) 한성규; 석사학위논문, 동국대학교 대학원, (1984)
- 13) Panel proceedings series, "Mössbauer spectroscopy and its applications",
International atomic energy agency (Vienna), 350(1972)
- 14) 홍성락; 제주대학교 논문집(자연과학), 22; 57(1986)
- 15) 박경원; 석사학위논문, 동국대학교 대학원, (1986)
- 16) 장효익; 석사학위논문, 동국대학교 교육대학원, (1986)
- 17) 최동; 석사학위논문, 동국대학교 교육대학원, (1984)
- 18) 박관호, 백우현; 동국대학교 논문집, 17; 75(1978).
- 19) 홍치유, 동국대학교 논문집, 5; 169(1976)
- 20) Levy; "Principles of solid state physics", Academic press, Inc(London)
LTD, 256(1972)
- 21) 고병우, 송인걸, 황동석; 전남대학교 논문집(자연), (1986)
- 22) 옥항남, "Mössbauer 분광학", 민음사, (1983)
- 23) 홍치유, 문용식, 강진규; 동국대학교 논문집, 14; 249(1975)
- 24) 홍치유, 백승도, 김진황; 동국대학교 논문집(자연과학편), 24; 19(1985)
- 25) L.R.Walker, G.K. Wertheim and V. Jaccarino; Phys. Rev. Lett.,
6(3): 98(1961)
- 26) R.S. preston, S.S. Hanna and J.Heberle; Phys. Rev., 128(5): 2207(1962)

- 27) R. Bauminger, S.G. Cohen, A. Marinov, S. Ofer, and E. Segal: Phys. Rev., 122(5): 1449(1961)
- 28) 조현수; "분자분광학" (대우학술총서), 민음사, 269(1988)
- 29) 모연순; 석사학위논문, 동국대학교 대학원, (1985)
- 30) I.J. Gruverman: "Mössbauer effect methodology", Z. Plenum Press New York (1966)
- 31) 홍치유, 백승도, 문찬호; New Physics, 29: (1989)
- 32) U. Gonser; "Mössbauer spectroscopy", Springer-verlag berlin heidelberg New York, 64(1975)
- 33) 홍치유, 박관호, 백승도, 홍성락; 동국대학교 논문집, 25: 293(1986)
- 34) 박관호, 이경행, 김진광; 동국대학교 논문집, 24: (1985)
- 35) Leopold May; "An introduction to Mössbauer spectroscopy", Plenum press, New york - London, 109-130(1971)
- 36) V. G. Bhide; "Mössbauer effect and its Applications", Tata McGraw-Hill Publishing Co. LTD, 93 - 183(1973)
- 37) 황재하; 석사학위논문, 전남대학교 대학원, (1988)
- 38) 이문원, 손인석; 제주대학교 논문집(자연과학편), 17: 22(1984)
- 39) 이문원, 제주대학교 논문집(자연과학편), 8: 23(1976)
- 40) 오남삼; 석사학위논문, 고려대학교 교육대학원, (1980)
- 41) 박승필; 전남대학교 논문집(자연과학편), 30: 159(1985)
- 42) 정창희; "신지질학개론", 박영사, 395(1981)
- 43) 이문원, 손인석; "제주도는 어떻게 만들어진 섬일까", 도서출판 훈광, 53 - 64(1984)
- 44) 이문원; 지질학회지, 20(4): 306(1984)
- 45) 김수진; "광물학원론", 유성문화사, (1988)
- 46) 김성기; New physics, 26(2): 134(1986)
- 47) 홍성락, 최치규, 홍치유, 백승도; 동국대학교 자연과학연구소 논문집, 5: 89(1985)
- 48) 홍치유, 백승도, 이원철, 이경행; New physics, 29(1): 65(1989)
- 49) 이성호, 채광표, 김웅태, 정덕조, 정진덕; New physics, 28(4): 511(1988)
- 50) 이성호, 채광표, 김덕수, 최승환; New physics, 27(3): 298(1987)
- 51) 백승선, 유향남, 이정철; New physics, 25(4): 520(1985)

- 52) T.C. Gibb; "Principles of Mössbauer spectroscopy," John wiley & Sons.
Inc. New York, 58(1976)
- 53) 홍치유; 동국대학교 논문집, 17; 17(1978)
- 54) 이경행; 상지대학 자연과학논총 11; (1987)
- 55) 홍성탁; 제주대학교 논문집(자연과학편), 23; 55(1986)
- 56) 홍성탁; 박사학위논문, 동국대학교 대학원, (1986)
- 57) 현영미; 석사학위논문, 제주대학교 교육대학원, (1987)

