백두산과 제주화산도에 있는 용암동굴의 X선 분석

Quantitative Analysis of the Volcanic Cave Rocks in Mt. Peakdu Group and Cheju Island

김경훈* · 홍시환** · 유충걸***

Abstract

The Mt. Peakdu is situated in north of the main peninsula, commanding geographically coordinated between longtitude W(127° 15′ - 128° 00′) to E(128° 15′ - 129° 00′), between latitude from S(41° 15′ - 42° 00′) to N(42° 10′ - 42 ° 40′). The Manjyang-Gul in Cheju volcanic island is situated in the south of the main peninsula, commanding the Korean Strait, geographically coordinated longitude N(33° 32′ 26″) and E(126° 46′ 48″).

The quantitative analysis using XRF of volcanic rock samples for the north of Lu- Ming- Feng in Mt. Peakdu Group and the Manjang-Gul in Cheju island was performed. The major chemical components by group ananlysis are as follows;

Peakdu-Mt.	Cheju	Peakdu-Mt.	Cheju
(1) Na_2O	3.29Wt%	3.27Wt%	
(2) MgO	3.95Wt%	6.15Wt%	
(3) Al_2O_3	17.64Wt%	15.17Wt%	
(4) SiO_2	50.62Wt%	50.99Wt%	
(5) P_2O_5	0.36Wt%	0.30Wt%	
(6) K_2O	1.37Wt%	1.04Wt%	
(7) CaO	8.56Wt%	8.06Wt%	
(8) TiO_2	2.37Wt%	2.15Wt%	
(9) MnO	0.11Wt%	0.16Wt%	
(10) Fe_2O_3	9.12Wt%	12.56Wt%	

The Group analysis data were compared in the relation within the age of formation for 0.16±0.08Ma in Mt. Peakdu Group, and 0.042±41Ma or 0.42±42Ma in Cheju island for K-Ar age. The crystal structure are mixed crystal of monoclinic, hexagonal and triclinic system in Mt. Peakdu Group and mixed structure of triclinic and cubic system in Cheju volcanic island.

* 일본 오사카경제법과대학 교수

** 한국동굴학회 명예회장

*** 중국 연변대학 지리학과 교수

1. 서론

이 연구는 우리 나라의 북단인 백두산[위치는 북위(北界 42° 10′ ~ 42° 40′) ~ 南界(127° 15′ ~ 128° 00′)] 및 동경 [東界(127° 15′ ~ 128° 00′) ~ 西界(128° 15′ ~ 129° 00′)]에 있는 동굴, 그리고 남단인 제주화산도에 있는 만장굴에 관한 성분 분석과 格子定數의 비교·검토에 주목적을 두고 있다.

백두산(해발 2,744m)은 약 6억년 전에는 大海였다. 그 때부터 지각변동에 의해 지상에 화산분출한 것이다. 화산분출한 중심지에는 白頭天池가 있다(그림 1 참조). 천지의 중심지부터 서북지점에 鹿鳴峰(해발 2,603m)이 있다. 녹명봉의 유래는 겨울에 지온이 낮아 눈이 적고, 여름에는 사슴이 좋아하는 식물들이 많이 분포하여 사슴의 울음소리가 울려 퍼지는 장소이기 때문이다. 녹명봉은 芝盤峰이라고도 부른다. 지반봉의 유래는 토질환경에 알맞은 靈芝가 많이 있는 큰 대지인 것으로 부르고 있다. 말하자면 이 지역에는 동굴이 있음으로 다른 지역과는 기온 차이가 있음을 확인할 수 있다. 녹명봉의 북쪽에 동굴이 있어서 그림 2와 같이 표시하였다. 그림 2에서의 試料는 남·중앙·북측의 3지점의 용암을 채집하였다.

제주화산도는 동서의 거리(약 80km)가 남북의 거리(약 40km)보다 길어서 타원형태로 되어 있고 중앙부에는 해발 1,950m의 漢拏山이 있는 섬이다(그림 3 참조). 萬丈窟은 제주화산도의 동북쪽에 있는 북제주군 구좌읍 금녕리에 동경 126° 46′ 48″ , 북위 33° 32′ 26″ 에 위치한다. 만장굴의 길이는 8,927m로 세계 제 4위에 해당하고, 총연장의 길이는 13,269m로 세계 제 1위급이다. 세계적인 자랑거리로는 ① 용암석주의 높이(8.9m), ② 대형 熔岩球의 밀집 분포(21개), ③ 熔岩橋의 수(상층부 11개와 하층부 4개를 합하면 15개), ④ 熔岩棚(선반)의 형태(A, B, C, D, 그리고 E형인 5가지 Type), ⑤ 천정의 높이

(단층 18.1m와 상층 25.0m), 그리고 ⑥ 상층의 구조단계(5多層段階) 등이 있다. 이 논문에서는 용암석주의 시료에 관하여 채집하였다.

백두산과 제주화산도를 연대측정한 결과는 다음과 같다.

백 두 산		제 주 화 산 도	
천지폭포 하층	약 58 ~ 200만년 전	산방산 용암	약 7.5만년 전
천지폭포 중층	약 44만년 전	만장굴 석주	약 3.2만 ~ 42만년 전
천지폭포 상층	약 21만년 전	백 록 담	약 4만년 전
녹명봉 동굴	약 16만년 전		
기상대 동측	약 9만년 전		

이러한 연대측정의 결과로 알려진 우리 나라 남북 양극단의 데이터에 의하여 형성연대를 예측할 수 있다. 본 연구인 양극단의 시료를 가지고 형광X선 분석에 의한 중량 백분율과 X선 분석에 의한 三斜晶系인 격자정수가 실험오차의 범위 내에 일치되어 있다는 것을 찾을 수 있게 되었다. 그러므로 본 논문은 백두산과 제주화산도의 용암 분석에 있어서 학문상에 중요한 자료로 특징지을 수 있다.

2. 실험방법

1) 형광X선 분석

형광X선 분석에는 FD법(Fundamental Parameter Method)을 사용하였다. 실험장치는 이학전기공업製의 RIX 2000형을 사용하였다. 측정에 조사할 試料徑은 30mm ϕ 이다. 측정조건으로 X선의 관두는 앤드위드 Rh타켙이다. 스펙트럼은 Kα 또는 Kβ선이고, 사용한 전압 및 전류는 각각 50KV와 50mA이다. 분광결정은 TAP, PET, Ge 또는 Lif이고, 스리트는 Coarse인데, 염소는 Fine를 사용하였다. 검출기는 F - PC 또는 SC를 사용하였다.

이런 분석의 성능을 향상시키기 위해 Back Ground를 제거, 중복의 보정법을 해결하기 위해 Micro Computer로 정보처리를 하였다. 정보처리에는 프로그램의 Flow Chart의 조건에 따라서 Back Ground 제거,

강도 교정, 내표준보정, 검출량정량 및 보정을 하였다.

2) X선 분석

측정장치는 이학전기製의 RINT - 1200형을 사용하였다. 측정에 조사할 시료경은 30mm ϕ 이다. 측정조건은 다음과 같다.

① X선의 管球(CU), ② 발산 스리트(1°), ③ 산란 스리트(1°), ④ 관내의 전압(40kV), ⑤ 관내의 전류(50mA), ⑥ 주사축(2θ/), ⑦ 受光 스리트(0.15mm), ⑧ 샘플 폭(0.20°), ⑨ 주사 속도(4.00 ° / min), ⑩ X선의 파장(1.54056 Å)

여기에 있어서의 回折 각도는 CuK α 선(1.54056 Å)의 2θ를 3° 부터 90° 범위로 回折圖形에 기록하였다. 데이터 처리에 사용한 전자계산기의 프로그램은 FORTRAN과 C언어를 사용하였다. 프로그램의 Flow Chart에 의하여 Peak Search를 하여, 각각의 Peak에 의하여 면간격과 면지수를 결정하였다.

JCPDS에 의하면 백두산과 녹명봉동굴과 제주화산도 만장굴 석주의 성분은 다음과 같이 알 수 있다.

이러한 데이터를 비교함으로써, 삼사정계는 서로 공통적으로 우리나라의 양극단 동굴에 존재하고 있다는 것을 알게 되었다.

구 분	JCPDS No.	화 학 식	암 석 명	결정 구조
鹿鳴峰 洞窟	41 - 1481	Anorthite[(Ca, Na) (Si, Al)$_4$O$_8$]	灰長石	三斜晶系
	10 - 0393	Albite [NaAlSi$_3$O$_8$]	曹長石	三斜晶系
	24 - 0203	Augite [Ca(Mg, Fe)Si$_2$O$_6$]	輝石	單斜晶系
	33 - 1161	Quartz [SiO$_2$]	石英	六方晶系
萬丈窟	41 - 1481	Anorthite[(Ca, Na) (Si, Al)$_4$O$_8$]	灰長石	三斜晶系
	10 - 0393	Albite [NaAlSi$_3$O$_8$]	曹長石	三斜晶系
	19 - 0629	Magunetite[(Fe$_3$O$_4$)56F]	酸化鐵	立方晶系

3. 실험 결과

1) 自動定性 Order 분석에 의한 重量百分率

실험 방법에 따른 백두산의 녹명봉동굴 용암의 형광X선 분석에 의하면 각 원소는 표 1과 같다.

제 Ⅰa족의 경금속(Na, K, Rb), 제 Ⅱa족의 경금속(Mg, Ca, Sr), 제 Ⅳa족의 중금속(Ti, Zr), 제 Ⅵa족의 중금속(W), 제 Ⅶa족의 중금속(Mn), 제 Ⅷ족의 중금속(Fe, Co, Ni), 제 Ⅰb족의 중금속(Cu), 제 Ⅱb족의 중금속(Zn), 제 Ⅲb족의 반금속·반도체(Al), 제 Ⅳb족의 반도체(Si), 제 Ⅴb족의 비금속(P) 및 제 Ⅵb족의 비금속(S) 등을 포함하여 21종의 함유량으로 되어 있다. 한편, 第 3價에는 6개의 원소, 第 4價에는 9개의 원소 및 第 5價에는 3개의 원소가 구성되고 있다는 것을 확인하였다. 이러한 데이터의 정확성을 알기 위하여 BCS(British Chemical Standard)의 표준값과 실험결과를 확인하고 검토하였다. 그 결과, BCS와는 크나큰 차이가 없다는 것을 알게 되었다. 차이가 있어도 측정조건과 照射面에서 있어서의 위치에 대해서는 큰 차이가 없다는 것을 알게 되었다.

2) Group 定量分析에 의한 重量百分率

Group 정량분석은 프로그램에 설정한 각 원소에 대하여 형광X선 강도를 측정한 후 전산기의 정보처리를 실시하였다. 그 결과는 표 2와 같다. Group 정량분석을 하기 위해 각 스펙트럼에 관하여 正味의 형광X선 강도 값을 구한 계산은 다음과 같다.

$$I_{net} = I_p - (I_{BG.1} \sim I_{BG.2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

여기에서 I_{net} : 正味의 형광X선 강도

I_p : Peak 위치의 형광X선 강도

$I_{BG.1}$: Back Ground 1의 형광X선 강도

$I_{BG.2}$: Back Ground 2의 형광X선 강도

I net의 계산은 $I_{BG.1}$과 $I_{BG.2}$ 사이에의 중간점을 선택하여서 자동적으로 계산하였다. 정량적인(Normalized) 함유량은 실험결과를 표시하고 또한 유효수치로 정리한 최종적인 데이터이다.

이렇게 정리한 결과에서 표 2의 South, Middle 및 North Position은 백두산 녹명봉동굴에 있는 남, 중앙 및 북측 지점을 말하고 있다. 이 3지점에서 10Wt% 이상인 성분은 Al_2O_3(17.23 ~ 18.41Wt%) SiO_2(49.79 ~ 51.84Wt%) 등이다. 그리고, 5 ~ 10 Wt% 범위에는 CaO(7.65 ~ 9.16Wt%) 및 Fe_2O_3(8.55 ~ 9.75Wt%)가 있다. 여기에서 Al_2O_3, SiO_2, CaO 및 Fe_2O_3를 합하면 83.22Wt%부터 89.16Wt%의 범위에 있어서 전체의 80% 이상을 차지하고 있다.

제주화산도의 만장굴 석주에서는 Al_2O_3(14.70Wt%), SiO_2(53.07Wt%) 및 Fe_2O_3 (11.34Wt%) 등이 10Wt% 이상이다. 그리고 5 ~ 10Wt% 범위에는 MgO(6.48Wt%) 및 CaO(7.82Wt%)가 있다. 여기에서 SiO_2, Al_2O_3 및 Fe_2O_3를 합하면 79.11Wt%이고, 새로이 MgO와 CaO를 합하면 93.41Wt%로 되어 전체의 90% 이상이 되었다.

3) X선 回折에 의한 格子定數의 해석

회절 각도와 면 간격 D(Å)는 Bragg 반사조건식에 의해 결정한다.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad \cdots\cdots (2)$$

여기에서 λ는 파장(Å), d는 면 간격(Å), 그리고 θ는 회절각도(°)이다. 三斜晶系의 격자정수는 면 간격(d)과 면 지수(Hkl)에 의하여 구할 수 있다. 이러한 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{V^2}(S_{1\ 1}\ h^2 + S_{2\ 2}\ k^2 + 2S_{1\ 2}\ hk + 2S_{2\ 3}\ kl + 2S_{1\ 3}\ hl) \quad \cdots\cdots (3)$$

$$V = abc\sqrt{1-\cos^2\alpha-\cos^2\beta-\cos^2\gamma+2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma}$$

$$S_{1\ 1} = b^2\ c^2\ \sin^2\alpha$$

$$S_{2\ 2} = a^2\ c^2\ \sin^2\beta$$

$$S_{3\ 3} = a^2\ b^2\ \sin^2\ \gamma$$
$$S_{1\ 2} = abc^2\ (\cos\alpha\cos\beta - \cos\gamma)$$
$$S_{2\ 3} = a^2\ bc(\cos\beta\cos\gamma - \cos\alpha)$$
$$S_{1\ 3} = ab^2\ c(\cos\gamma\cos\alpha - \cos\beta) \quad \cdots\cdots \quad (4)$$

면 간격[d(hkl)은 Bragg의 반사조건식의 면 지수(hkl), 격자정수(A, B 및 C), 그리고 結晶軸의 각도(α, β 및 γ)에 의하여 결정하게 되었다. 여기에서는 격자정수 및 결정축의 각도를 산출하기 위해 HITAC M - 660 - 120E System에 의한 Brent법의 프로그램을 이용하여 수치를 계산하였다. 그 결과는 精密解와 적어도 유효숫자 4析까지 일치하였다. Brent법은 日立製品名 「日立數値計算 프로그램 라이브러리 MSLⅡ」이다.

삼사정계의 격자정수(a, b, c) 및 축각(α, β, γ)의 데이터는 표 3과 같이 분류되어 있다. 즉, 격자정수 a축의 길이는 8.164 ~ 8.172Å의 범위에 있고, 평균값은 8.167Å이다. 격자정수 c축의 길이는 7.106 ~ 7.111Å의 범위에 있으며, 평균값은 7.108Å이다. 격자정수에 관한 축각 α는 93.3 ~ 93.4°의 범위에 있고, 평균값은 93.35Å이다. 축각 β는 116.1°이다. 축각 γ의 각도는 90.6 ~ 91.0°의 범위에 있으며, 평균값은 90.8°이다. 결합해 본다면 격자정수는 7.106 ~ 12.88Å의 거리 내의 범위에 있고, 또는 축각은 90.6 ~ 116.1°의 범위 내에 존재하고 있는 것을 알게 되었다.

4. 검토

1) 중량 백분율의 검토

백두산, 녹명봉동굴 내의 3지점에 있는 중량 백분율은 표 2와 같이 표시되고 있다. 이 중량 백분율 즉 함유량을 작은 데이터로 많은 데이터로 順列시키면 표 4와 같다.

① **규산(SiO_2)**의 함유량은 남(50.23Wt%), 중(49.79Wt%), 북

(51.84Wt%) 및 만장굴(53.07Wt%)이다. 녹명봉동굴의 함유량은 50.62Wt%이고, 백두산 전체의 함유량은 47.5 ~ 72.9Wt%의 범위에 있다. 그 결과, 백두산 전체에는 적은 것이 확인되었고, 만장굴보다는 2.45Wt%가 적다. 한편, 만장굴의 함유량(53.07Wt%)은 제주화산도의 45.1 ~ 65.5Wt% 범위에서는 적은 편에 속한다.

② **산화알루미늄(AL_2O_3)**의 함유량은 남(18.41Wt%), 중(17.29Wt%), 북(17.23Wt%) 및 만장굴(14.70 Wt%)이다. 녹명봉의 평균 함유량은 17.64Wt%이고, 백두산 전체의 함유량은 10.9 ~ 18.4Wt%의 범위에 있다. 그 결과, 백두산 전체에는 많은 것을 확인하였고, 만장굴보다는 2.95Wt%가 많다는 것을 알게 되었다. 한편 만장굴의 함유량(14.70Wt%)은 제주화산도의 13.8 ~ 19.2Wt% 범위 내에서는 적은 편에 속한다는 것을 확인하였다.

③ **산화칼슘(CaO)**의 함유량은 남(9.159Wt%), 중(8.886Wt%), 북(7.648Wt%) 및 만장굴(7.821 Wt%)이다. 녹명봉 동굴의 평균 함유량은 8.564Wt%이고, 백두산 전체의 함유량은 0.2 ~ 9.2Wt%의 범위에 있다. 그 결과 백두산 전체에는 매우 많은 편이고, 만장굴보다도 많다(0.74Wt%)는 것을 알게 되었다. 한편 만장굴의 함유량(7.821Wt%)은 제주화산도의 1.1 ~ 10.1Wt% 범위에서 많은 편에 속한다는 것을 확인하게 되었다.

④ **산화제2철(Fe_2O_3)**의 함유량은 남(9.048Wt%), 중(9.749Wt%), 북(8.548Wt%) 및 만장굴(11.338Wt%)이다. 녹명봉동굴의 평균 함유량은 9.115Wt%이고, 백두산 전체의 함유량은 2.0 ~ 10.1Wt%의 범위에 있다. 그 결과 백두산 전체에는 매우 많은 편이고, 만장굴보다 적다(2.22Wt%)는 것을 알게 되었다. 한편 만장굴의 함유량(11.338Wt%)은 제주화산도의 1.1 ~ 11.9Wt% 범위에서 매우 많은 편에 속한다는 것을 확인하게 되었다.

⑤ **산화마그네슘(MgO)**의 함유량은 남(4.121Wt%), 중(4.501Wt%),

북(3.222Wt%) 및 만장굴(6.482Wt%)이다. 녹경봉동굴의 평균 함유량은 3.948Wt%이고, 백두산 전체의 함유량은 0.0 ~ 4.6 Wt%의 범위에 있다. 그 결과 백두산 전체에는 많이 있지만, 만장굴보다는 적다(2.53Wt%)는 것을 알게 되었다. 한편 만장굴의 함유량(6.482Wt%)은 제주화산도의 0.1 ~ 10.6Wt% 범위에서 중간 정도에 해당함을 확인하게 되었다.

⑥ **산화나트륨(Na_2O)**의 함유량은 남(3.562Wt%), 중(3.488Wt%), 북(2.823Wt%) 및 만장굴(3.071Wt%)이다. 녹명봉동굴의 평균 함유량은 3.291Wt%이고, 백두산 전체의 함유량은 2.8 ~ 6.1Wt%의 범위에 있다. 그 결과 백두산 전체는 중간 정도이고, 만장굴보다는 적다(0.22Wt%)는 것을 알게 되었다. 한편 만장굴의 함유량(3.07Wt%)은 제주화산도의 함유량 2.1 ~ 6.4Wt% 범위에서 중간 정도라는 것을 확인하게 되었다.

2) 三斜晶系의 格子定數와 軸角

백두산 녹명봉동굴의 용암 성분은 석영(SiO_2 : 六方晶系), 曹長石($NaAlSi_3O_8$: 三斜晶系), 灰長石[$(Ca, Na)(Si, Al)_4O_8$: 三斜晶系] 및 輝石[$Ca(Mg, Fe)Si_2O_6$: 單斜晶系]과의 동질형이란 것을 형광X선 분석과 X선 회절에 의하여 상관관계를 확인하게 되었다. 만장굴 석주의 용암 성분은 회장석(Anorthite : 三斜晶系), 조장석(Albite : 三斜晶系) 및 산화철(Magunetite : 立方晶系)과의 동질형이란 것을 알게 되었다. 본 논문에서는 서로가 공통되고 있는 삼사정계에 대해 언급한다.

① **격자정수(a)**는 남측이 8.166Å, 중앙부가 8.172Å 및 북측이 8.164Å인 반면에, 만장굴은 8.104Å이다(표 3 참조). 따라서 백두산 녹명봉의 평균 격자정수는 8.167Å이고, 만장굴보다 0.063Å가 길다.

② **격자정수(b)**는 남측이 12.890Å, 중앙부가 12.880Å, 북측이 12.860Å인 반면에, 만장굴은 12.690Å이다. 따라서 녹명봉의 평균 격

자정수는 12.877Å이고, 만장굴보다는 0.187Å가 길다.

③ **격자정수(c)**는 남측이 7.106Å, 중앙부가 7.106Å, 북측이 7.111Å인 반면에, 만장굴은 7.113Å이다. 따라서 녹명봉동굴의 평균 격자정수는 7.108Å이고, 만장굴보다는 0.005Å가 짧다.

④ **축각(α)**는 93.3 ~ 93.4°의 범위에 있고, 만장굴(98.9°)보다는 5.6° 좁다는 것을 알게 되었다.

⑤ **축각(β)**는 116.1°로 3지점에서 똑같은 각도로 되고 있고, 만장굴(113.9°)보다는 2.2° 넓다는 사실을 알게 되었다.

⑥ **축각(γ)**는 남측이 90.8°, 중앙부가 91.0°, 북측이 90.6°인 반면에, 만장굴은 86.2°이다. 따라서 녹명봉의 평균 축각은 90.8°이고, 만장굴보다는 4.6° 넓다는 것을 알게 되었다.

3) 重量 百分率과 格子定數의 關係

녹명봉동굴의 남·중·북 및 만장굴에 관한 각 성분과 격자정수의 관계를 알기 위하여 그림 4와 같이 막대그래프를 그렸다. 그림 4에서 왼쪽으로부터 남·중·북 및 만장굴(▨, ▧, ▩ 및 ■)의 순번으로 표시하였다. 동시에 표 4와 같이 검토하여 본다면 중량 백분율 즉 함유량이 많은 것으로부터 말한다면 다음과 같다.

지 역	원 소					
남 지 역	① SiO_2	② Al_2O_3	③ CaO	④ Fe_2O_3	⑤ MgO	⑥ Na_2O
중 지 역	① SiO_2	② Al_2O_3	③ Fe_2O_3	④ CaO	⑤ MgO	⑥ Na_2O
북 지 역	① SiO_2	② Al_2O_3	③ Fe_2O_3	④ CaO	⑤ MgO	⑥ Na_2O
만 장 굴	① SiO_2	② Al_2O_3	③ Fe_2O_3	④ CaO	⑤ MgO	⑥ Na_2O

그 결과 ① SiO_2, ② Al_2O_3, ⑤ MgO 및 ⑥ Na_2O는 순위가 같은데, ③ CaO와 ④ Fe_2O_3는 순위가 바뀌어지고 있다. 그러나 큰 차이는 없다.

여기에서 격자정수와 중량 백분율(W)의 관계를 알기 위하여 圖示한 것이 그림 5이다. 그림 5의 내용을 분석하기 위하여 회귀분석을

하였다. 회귀분석에는 회귀방정식을 사용하였고 결정계수(R^2)를 가지고 상관분석을 동시에 수행하였다.

격자정수 a(Å) = 8.517 - 0.0001W ····· (R^2 = 0.00004) ····· (5)
격자정수 b(Å) = 12.8305 - 0.0002W ····· (R^2 = 0.00003) ····· (6)
격자정수 c(Å) = 7.1090 + 0.0000W ····· (R^2 = 0.00000) ····· (7)

여기에서 격자정수(a)의 接片은 8.517이고, 匈配는 0.00001이고, 또는 결정계수는 0.00004이다. 격자정수(b)의 접편은 128305이고, 흉배는 0.00002이고, 또는 결정계수는 0.00002이다. 동시에 격자정수(c)의 접편은 7.109이고, 흉배는 0이고, 또는 결정계수는 0이다. 그러므로 접편은 격자정수의 평균값이 되고 있다. 또는 흉배가 매우 적다는 것은 녹명봉동굴이나 만장굴이나 실험오차 이내에 있기 때문에 同質, 同格子定數 및 同軸임을 확인하였다.

5. 결론

백두산 녹명봉 및 제주화산도 만장굴의 연대 측정을 비교하여 본다면 K - Ar법에 의하여 각각 16만년전과 3만2천 ~ 42만년전이다. 우리 나라에서 삼천리 떨어진 거리에 현무암으로 형성된 동굴이 있다. 이 양극단 지역에 있는 동굴들의 공통점을 찾을 수 있다.

(1) 週期律表에 의해 경금속 · 중금속 · 반도체 · 비금속으로 분류하면 백두산은 21원소, 만장굴은 17원소로 구성되어 있다. 제1 ~ 제3 주기까지 같다. 만장굴은 녹명봉동굴보다 Co, Ni, Cu 및 W가 없고 그 대신에 Cr 있다.

(2) 重量百分率의 Group 定量分析에 의하면 평균 Al_2O_3와 SiO_2의 합계 68.26 Wt%이어서, 전체의 약 70%를 점유하고 있다. 따라서 Fe_2O_3(9 Wt%)와 CaO(8.564 Wt%)를 합하면 85.94 Wt%가 되어 전체의 9 차지하고 있다.

(3) 格子定數와 軸角에 있어서 a축의 길이는 녹명봉동굴이 8.167Å이 만장굴은 8.104Å이다. b축의 길이는 녹명봉동굴이 12.877Å이고 만장굴 12.690Å이다. c축의 길이는 녹명봉동굴이 7.108Å이고 만장굴은 7.1 이다. 따라서 녹명봉동굴보다 만장굴이 긴 격자정수는 c축이고, 짧은 격자정수는 a 및 b축이란 것을 알게 되었다.

(4) 格子定數와 重量百分率과의 관계에 있어서 일정한 회귀방정식에 의하여 녹명봉동굴과 만장굴을 포함된 물리정수에 의하여 실험오차 범위 내에 일정하다는 것을 알게 되었다. 중량백분율이 많고 적은 것은 관계 없이 격자정수의 a축은 8.1517Å, b축은 12.8305Å 및 c축은 7.1090 것을 회귀분석에 의하여 확인하였다. 격자정수와 중량백분율의 관계는 식 5 ~ 7과 일치되므로 통계학적으로 정보처리에 좋은 결과를 얻게 되었다.

참고문헌

Sang Man Lee, 1966, "Volcanic Rocks in Cheju Island," *Jour. Geol. Soc. Korea*, 2 , pp. 1~7.

원종관, 1976, "제주도의 화산암류에 대한 암석화학적 연구," 「지질학회지」, 12, pp. 207~226.

신유영, 1981, "용암동굴의 구조와 형성과정에 관한 연구 - 만장굴을 중심으로," 건국대학교 대학원 석사학위논문.

이문원, 1982, "한국의 제주화산도의 지질," 「암석광물학회지」, 77, pp. 55~64.

이문원, 1982, "한국의 제주화산도의 암석학," 「암석광물학회지」, 12, pp. 203~214.

澤勳, 1987, "제주화산도의 암석성분에 관한 통계학적 수치해석," 「동굴」,

14, 한국동굴학회, pp. 42~90.

김경훈, 1987, "만장굴 용암석주 부근의 수질농도 분석," 「제 10차 국내외 한국과학기술자 종합학술대회 논문집, 지구과학분과」, pp. 21~29.

김경훈, 1988, "만장굴 부근의 용암석주의 수질오염 분석," 「환경과학」, 4, 건국대학교, pp. 31~61.

澤勳, 1988, "제주화산도의 분출과정과 만장굴 연대와의 비교 연구," 「탐라」, 1, pp. 140~163.

王季平, 1989, 白頭山誌, 吉林文史出版社.

澤勳・片山佐一, 1989, "제주화산도에 있는 만장굴 석주의 화학 분석," 「大阪經濟法科大學論文集」, 36, pp. 1~26.

澤勳・高文玉・金景植, 1989, "Fundamental Parameter법에 의한 만장굴 용암 쌍자석주의 형광X선 분석," 「동굴」, 19, 한국동굴학회, pp. 29~62.

김경훈・최무웅, "만장굴 용암석주 부근의 수질농도 분석," 「동굴」, 20, 한국동굴학회, pp. 8~33.

김경훈・홍시환・박병수, 1989, "물리정수법에 의한 형광X선 분석과 마잔굴 석주의 연대 측정," 「동굴」, 20, 한국동굴학회, pp. 34~43.

澤勳, 1990, "제주화산도의 용암 성분에 관한 통계학적 수치 해석," 「동굴」, 22, 한국동굴학회, pp. 17~56.

홍영국, 1990, "백두산의 지질," *Jour. Geol. Soc. Korea*, 26, pp. 119~126.

孫廣友・富德義・宋海遠他, 1990, "장백산 화산기, 현무암 건조 및 화산지형적 형성," 「장백산 화산연구」, 연변대학출판부, pp. 12~25.

富德義・朱顔明他, 1990, "장백산 암석화학 조성 및 그 환경의 의의," 「장백산 화산연구」, 연변대학출판부, pp. 62~76.

澤勳, "Fundamental Parameter법에 의한 만장굴 용암석주의 형광X선 분석," 「동굴」, 21, 한국동굴학회, pp. 17~56.

김경훈・홍시환, 1990, "제주화산도, 만장굴에 관한 연대측정과 형광X선 분

석," 「세계한민족 과학기술자 종합학술대회, 지구과학분과」, pp. 184~188.

T. Okaya, T. Itaya, I. Sawa, S.H. Hong, 1991, "K - Ar age determination of a lava atalagmite in Manjang - gul, Jeju - do, Korea," *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 6, pp. 127~130.

澤勳, 1992, "白頭山에의 길," 大阪經濟法科大學出版部

澤勳, 1992, "제주화산도의 현무암과 만장굴과의 용암 분석," 「大阪經濟法科大學論文集」, 50, pp. 5~26.

澤勳・홍시환, 1993, "만장굴의 용암쌍석주와 제주화산도의 용암에 관한 정량분석," 「大阪經濟法科大學論文集」, 54, pp. 35~62.

澤勳・유충걸・임철호・河野久征, 1994, " 백두산, 천지기상대 동쪽에 있는 용암과 제주화산도의 정량분석," 「大阪經濟法科大學論文集」, 57, pp. 59~84.

澤勳・유충걸・河野久征, 1996, "백두산 녹명봉 북쪽에 있는 용암에 관한 단사정계의 격자정수," 「大阪經濟法科大學論文集」, 64, pp. 41~73.

Table 1 The Periodic Table of Elements for the North of Lu-Min-Feng Samples in Mt. Peakdu-san Group

	軽金属		重金属								半金属半導体		非金属	
族 / 周期	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIII			Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb
1	1 H 1.008															
2																8 O 32.999
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305											13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.064
4	19 K 39.098	20 Ca 40.080		22 Ti 47.88			25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.93	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37				
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62		40 Zr 91.22												
6						74 W 183.85								典型金属元素（水素包含）		
	典型金属元素		遷移金属元素													

Table 2 Relation between Cave Samples in the North of Lu-Min-Feng and the Manjang-Gul for the X-Ray Fluorescent Composition Data (Wt%)

Element	Mt. Peakdu-san Cave				Mt. Peakdu -san	Manjang-Gul	Cheju Island	Cave	
	South Position	Middle Position	Nouth Position	Average	MIN/MAX	Cave	MIN/MAX	Average	Peak-Che
Na2O	3.562	3.488	2.823	3.291	2.8/ 6.1	3.071	2.1/ 6.4	3.236	0.220
MgO	4.121	4.501	3.222	3.948	0.0/ 4.6	6.482	0.1/10.6	4.582	-2.534
Al2O3	18.410	17.290	17.230	17.643	10.9/18.4	14.697	13.8/19.2	16.907	2.946
SiO2	50.230	49.790	51.840	50.620	47.5/72.9	53.073	45.1/65.5	51.233	-2.453
P2O5	0.380	0.413	0.288	0.360	0.0/ 0.8	0.311	0.1/ 1.0	0.348	0.049
K2O	1.280	1.354	1.483	1.372	1.3/ 5.5	1.045	0.8/ 5.6	1.291	0.327
CaO	9.159	8.886	7.648	8.564	0.2/ 9.2	7.821	1.1/10.1	8.379	0.743
TiO2	2.309	2.435	2.374	2.373	0.2/ 2.6	2.025	0.1/ 0.3	2.286	0.348
MnO	0.117	0.122	0.091	0.110	0.1/ 0.2	0.136	0.1/ 0.3	0.117	-0.026
Fe2O3	9.048	9.749	8.548	9.115	2.0/10.1	11.338	1.1/11.9	9.671	-2.223
MAX	50.230	49.790	51.840	50.620		53.073		51.233	-2.453
MIN	0.117	0.122	0.091	0.110		0.136		0.117	-0.026

Table 8 Relation between Cave Samples in the North of Lu-Min-Feng and the Manjang-Gul for Lattice Constants with Triclinic System (A.)

Lattice Constants	Mt. Peakdu-san Cave						Manjang-Gul Cave	Cave Average	Peak-Che
	South Position	Middle Position	Nouth Position	Average	MAX	MIN			
a(A.)	8.166	8.172	8.164	8.167	8.172	8.164	8.104	8.152	0.063
b(A.)	12.890	12.880	12.860	12.877	12.880	12.860	12.690	12.830	0.187
c(A.)	7.106	7.106	7.111	7.108	7.111	7.106	7.113	7.109	-0.005
α(°)	93.3	93.4	93.3	93.3	93.4	93.3	98.9	94.7	-5.6
β(°)	116.1	116.1	116.1	116.1	116.1	116.1	113.9	115.6	2.2
γ(°)	90.8	91.0	90.6	90.8	91.0	90.6	86.2	89.7	4.6

Table 4 Relation between Cave Samples in the North of Lu-Min-Feng and the Manjang-Gul for Rearrangement in Weight Percents (Wt%)

Mt. Peakdu-san Cave								Manjang-Gul	
South		Middle		Nouth		Average			
Element	Position	Element	Position	Element	Position	Element		Element	Cave
MnO	0.117	MnO	0.122	MnO	0.091	MnO	0.110	MnO	0.136
P2O5	0.380	P2O5	0.413	P2O5	0.288	P2O5	0.360	P2O5	0.311
K2O	1.280	K2O	1.354	K2O	1.483	K2O	1.372	K2O	1.045
TiO2	2.309	TiO2	2.435	TiO2	2.374	TiO2	2.373	TiO2	2.025
Na2O	3.562	Na2O	3.488	Na2O	2.823	Na2O	3.291	Na2O	3.071
MgO	4.121	MgO	4.501	MgO	3.222	MgO	3.948	MgO	6.482
Fe2O3	9.048	CaO	8.886	CaO	7.648	CaO	8.564	CaO	7.821
CaO	9.159	Fe2O3	9.749	Fe2O3	8.548	Fe2O3	9.115	Fe2O3	11.338
Al2O3	18.410	Al2O3	17.290	Al2O3	17.230	Al2O3	17.643	Al2O3	14.697
SiO2	50.230	SiO2	49.790	SiO2	51.840	SiO2	50.620	SiO2	53.073

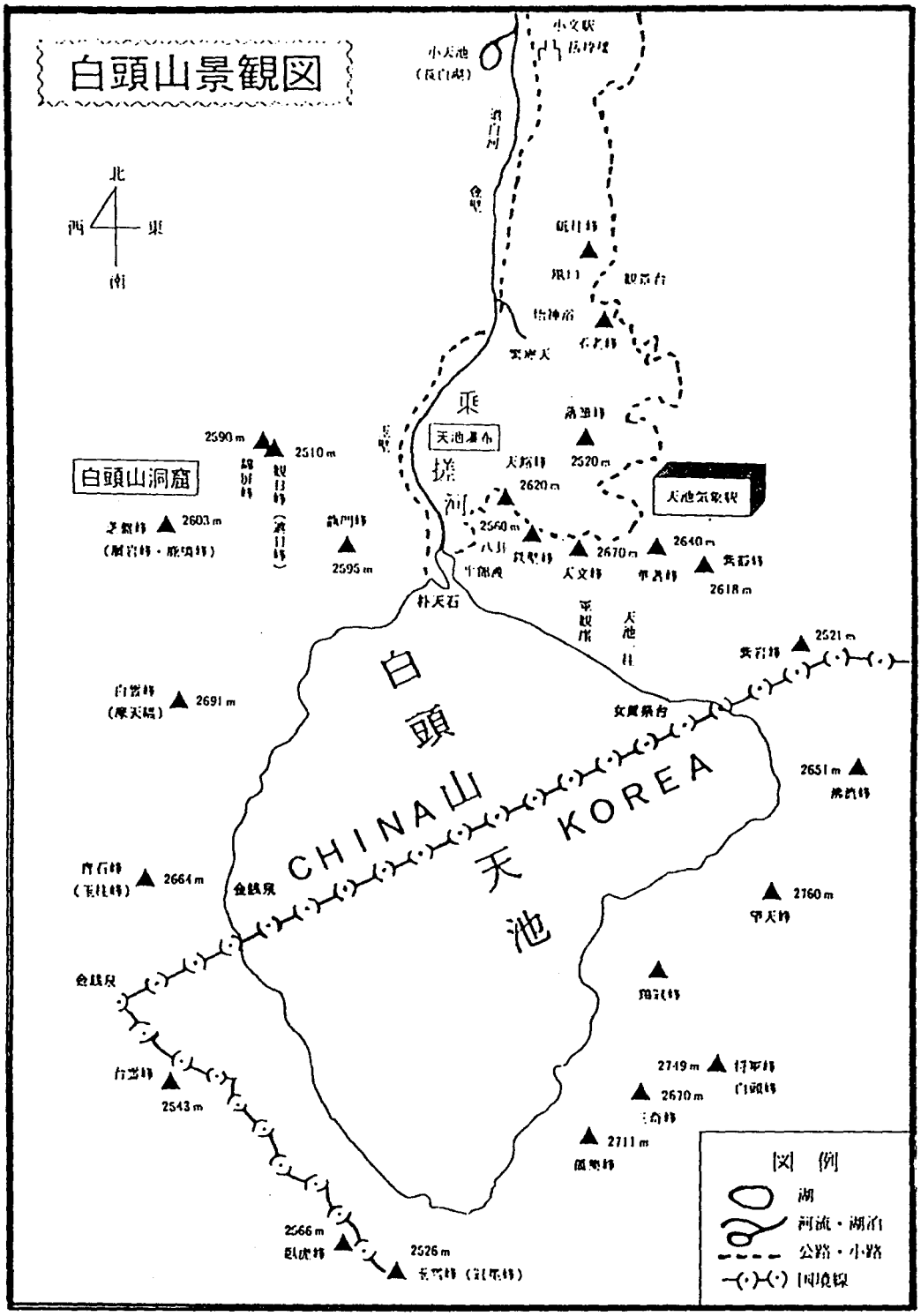

Fig. 1 The Sight Map in Mt. Peakdu-san Group

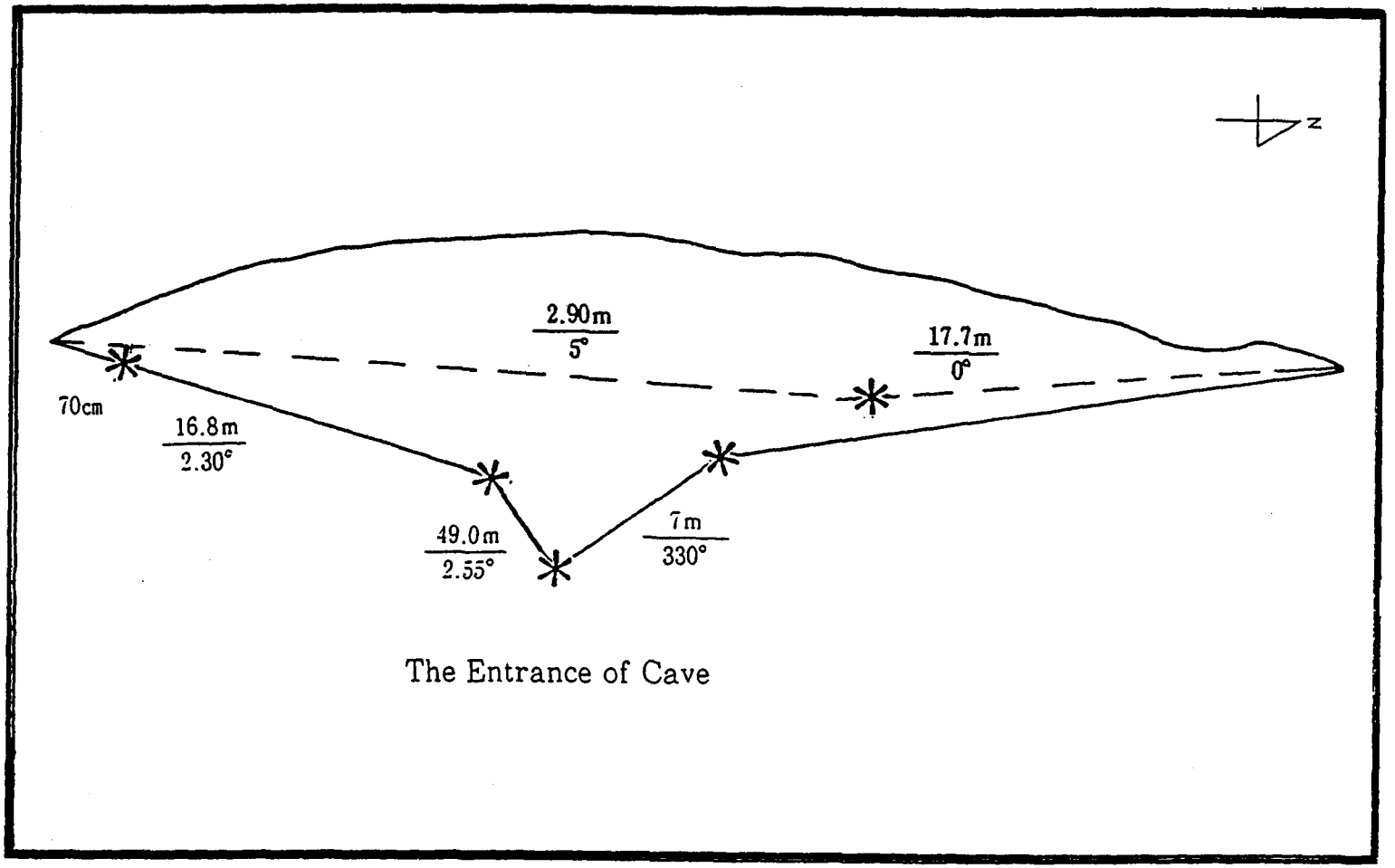

Fig. 2 The Map of cave on the North of Lu-Ming-Feng in Mt. Peakdu-san Group (Wt%)

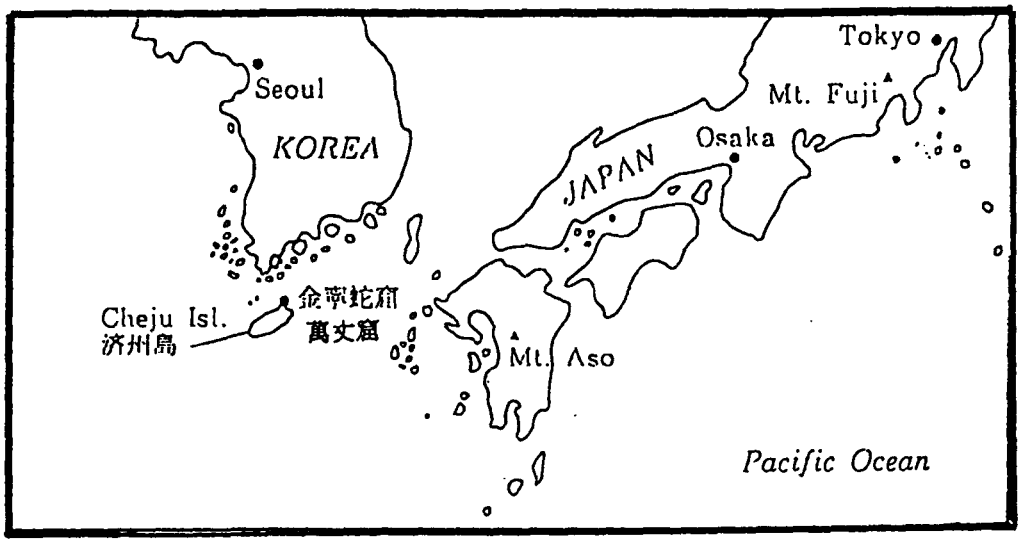

Fig.3 The Seat of Lava Caves at the Outskirts of Cheju Volcanic in Korea and Japan

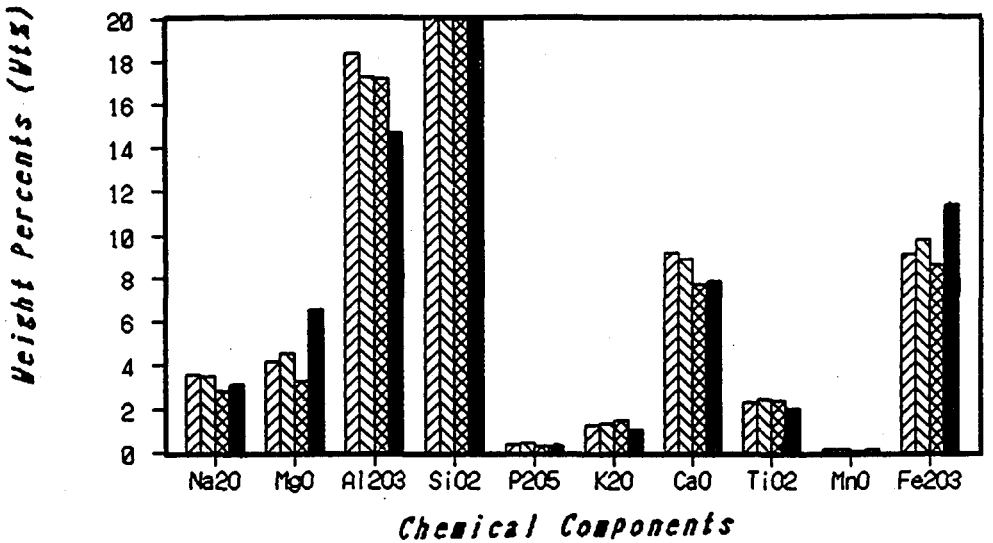

Fig. 4 Relation between the Weight Percents (Wt%) and Chemical Components in the North of Lu-Min-Feng and the Manjang-Gul

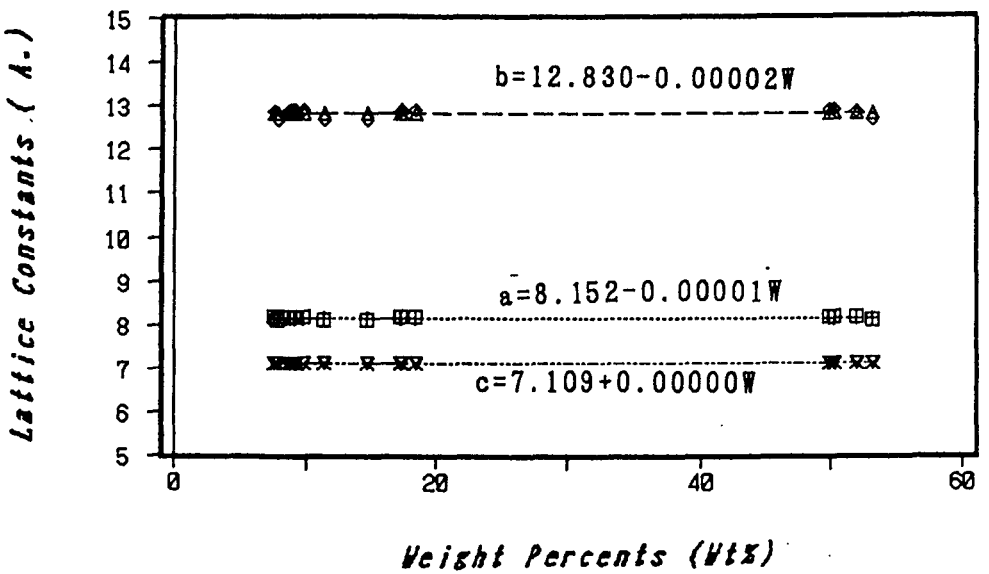

Fig. 5 Relation between the Lattice Constants (a,b,c in A.) and Weight Percent (Wt%) in the North of Lu-Min-Feng and the Manjang-Gul