

第三章 結果與討論

3-1、岩象學及全岩化學分析

3-1-1 岩象學分析

本研究之玄武岩外觀呈現灰黑色，岩石組成緻密，無氣孔(圖 3-1)。將岩石製成薄片後置於偏光顯微鏡下觀察，發現岩石中分布不透明之鈦鐵氧化物(圖 3-2)，結晶大小約 0.1mm 至 0.2mm；斜長石為主要構成岩基之礦物(圖 3-3)，結晶大小 0.1 至 0.3mm，部分風化嚴重；橄欖石結晶最大可至 0.5mm，表面亦有風化現象(圖 3-4)。

3-1-2 全岩化學分析

以 X 光螢光分析法(X.R.F.)分析本實驗全岩成分，如表 3-1 所示，表左欄為本實驗樣本，右欄為李寄嶼(1994)之分析。本實驗與李寄嶼(1994)所採 PH-04 樣本之化學成分及應存礦物比例相近，本實驗燒失量 (L.O.I.) 為 2.94%。本實驗與李寄嶼(1994)樣本全岩成分，An 值分別為 75.01 及 68.00。

依據 SiO_2 對 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量作圖(圖 3-5)，本實驗與李寄嶼(1994)樣本均屬於鹼性玄武岩。經 C.I.P.W.方法計算應存礦物比例，投影至玄武岩四面體(Yoder and Tilley, 1962)，亦均屬於鹼性玄武岩 (Alkali basalt) (圖 3-6)。



圖 3-1、澎湖北寮地區玄武岩，外觀為灰黑色、質地緻密、無氣孔

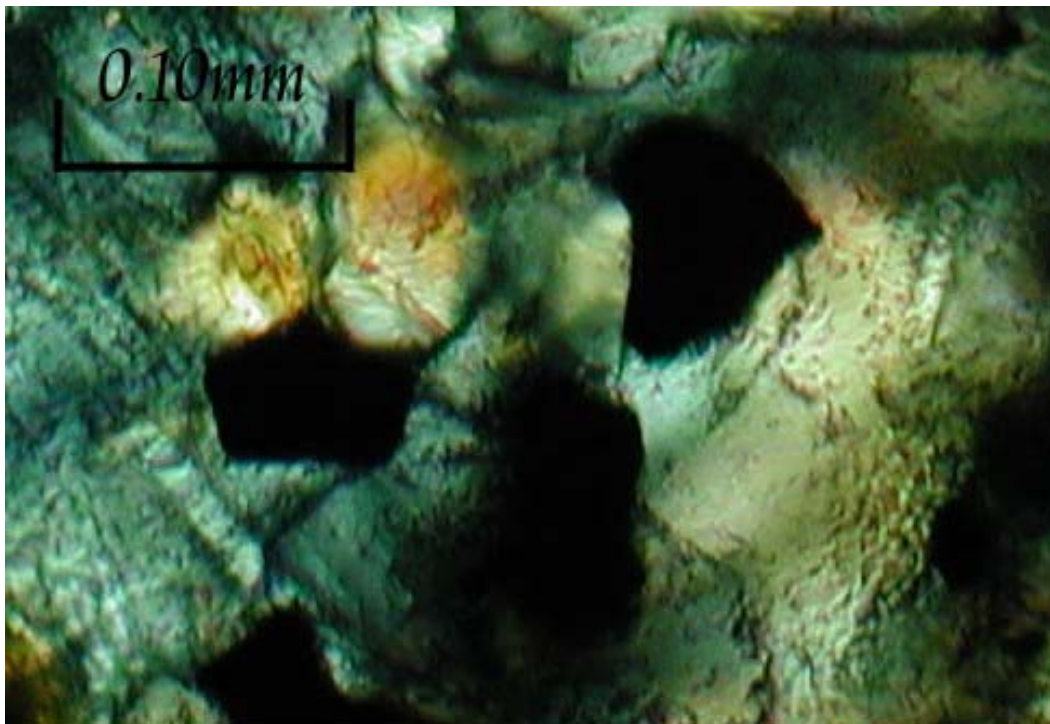


圖 3-2、澎湖北寮玄武岩之鈦鐵氧化物(交叉偏光)

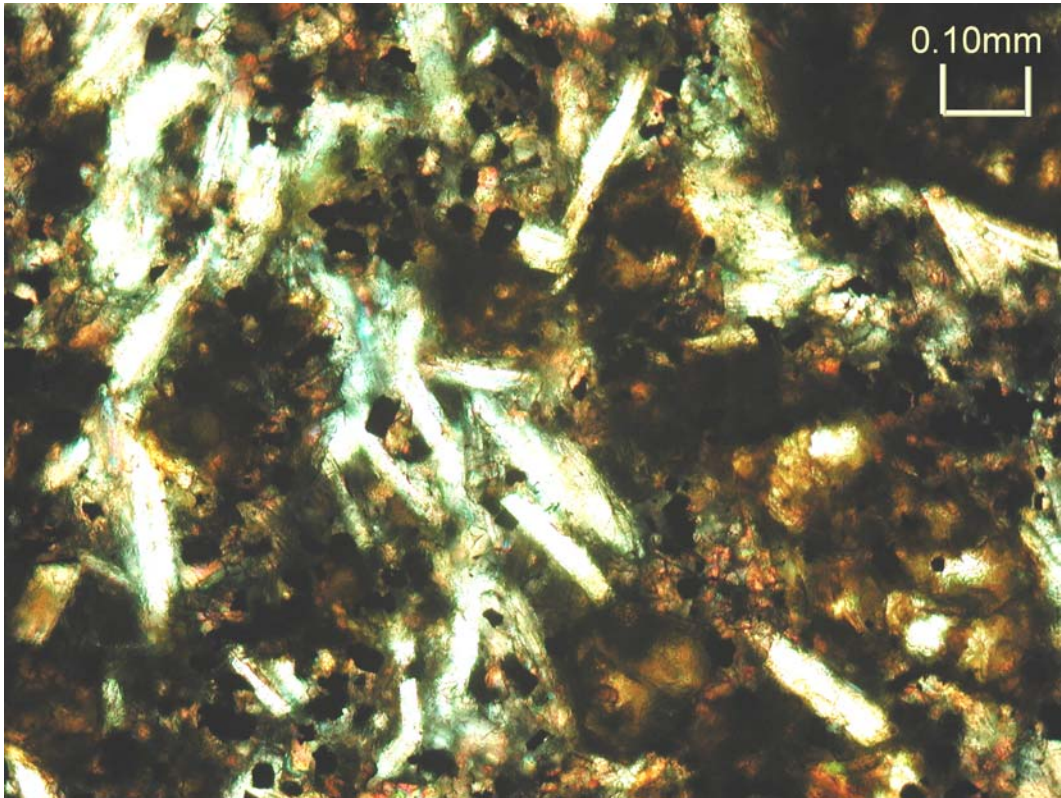


圖 3-3、澎湖北寮地區玄武岩之斜長石

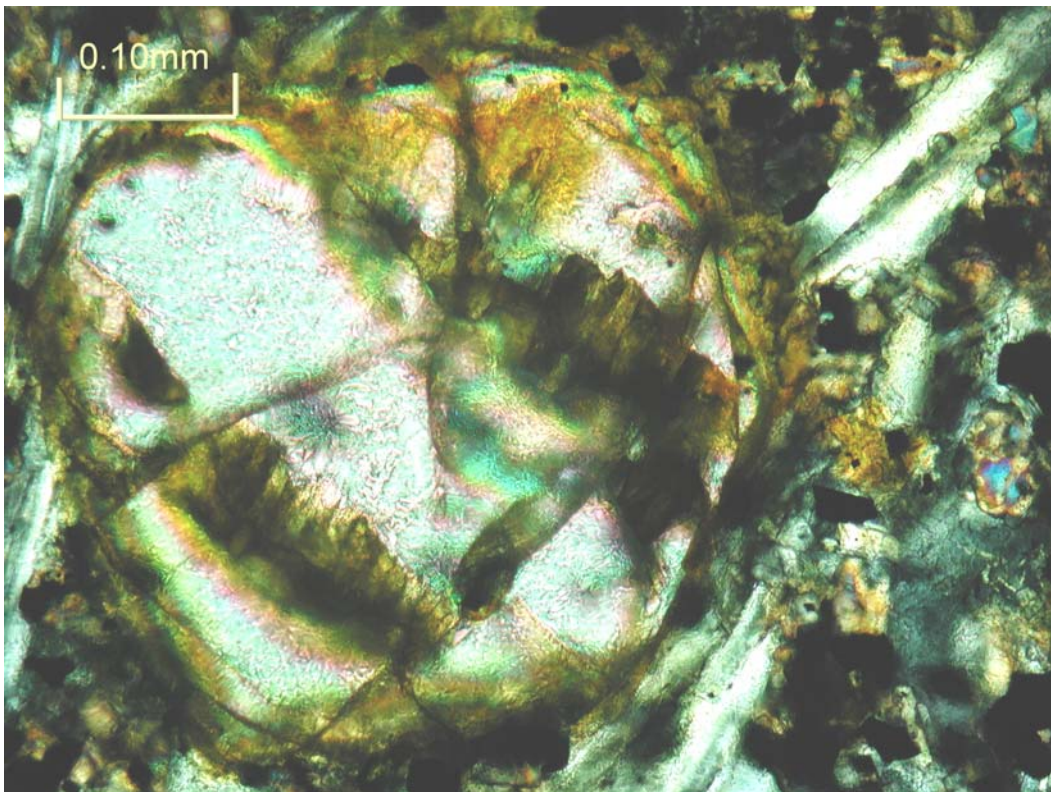


圖 3-4、澎湖北寮玄武岩之橄欖石

表 3-1、澎湖北寮地區玄武岩全岩化學成分

Sample	本實驗	李寄嶼 ¹
Wt. %		
SiO ₂	42.61	42.90
TiO ₂	3.52	3.31
Al ₂ O ₃	12.67	13.40
tFe ₂ O ₃ ²	13.57	13.72
MnO	0.18	0.19
MgO	10.10	9.64
CaO	9.42	10.22
Na ₂ O	3.00	2.85
K ₂ O	1.58	1.26
P ₂ O ₅	0.03	0.73
L. O. I.	2.94	1.13
Total	99.62	99.35
C. I. P. W. Norm		
Q	0.00	0.00
Or	9.34	7.45
Ab	5.72	9.43
An	16.44	20.05
Ne	10.65	7.95
Di	24.56	21.20
Hy	0.00	0.00
Ol	21.58	22.80
Il	6.69	6.29
Ap	0.07	1.69
L. O. I.	2.94	1.13
Total	97.99	97.98
An	75.01	68.00

1. 李寄嶼(1994)，樣本 PH-04

2. tFeO Wt% = tFe₂O₃ Wt% × (2×FeO 分子量/Fe₂O₃ 分子量)

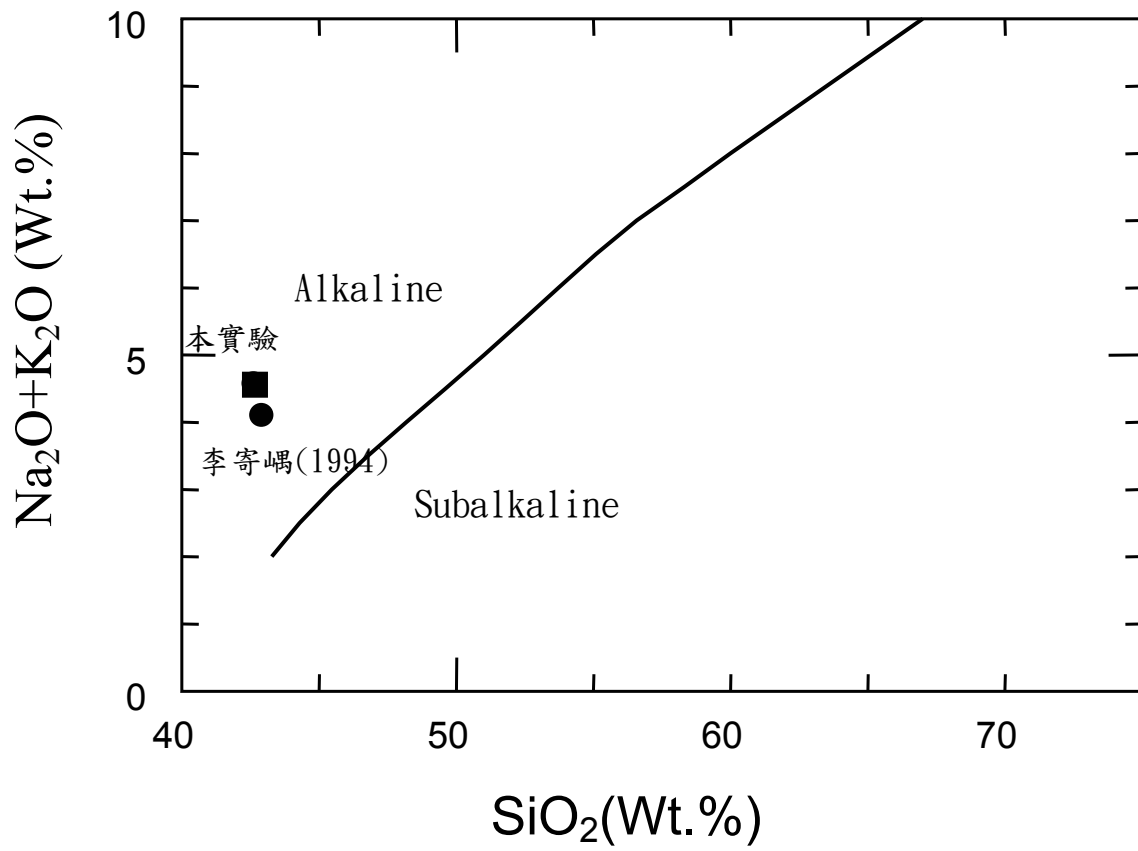
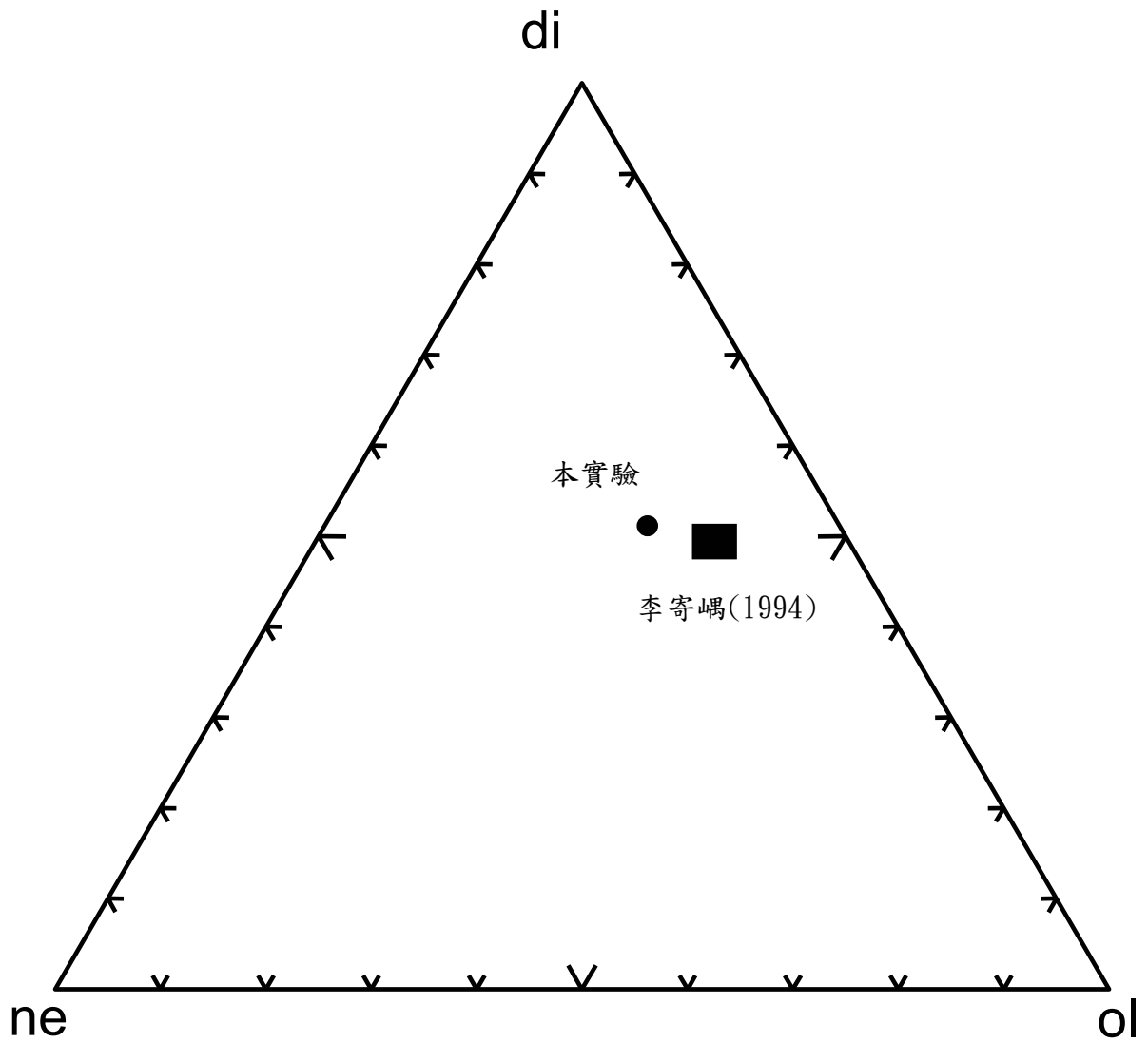


圖 3-5、澎湖北寮地區鹼金屬氧化物對二氧化矽含量作圖

(MacDonald and Katsuna, 1964)



ne=nepheline (霞石) ; di=diopside(透輝石) ; ol=olivine(橄欖石)

圖 3-6、玄武岩四面體 ne-di-ol 投影圖(Yoder and Tilley, 1962)

3-2、一大氣壓下高溫實驗結果

3-2-1 一大氣壓下高溫實驗結晶次序

一大氣壓高溫實驗結果，如表 3-2 所示，液相溫度約 1362°C，固相溫度略低於 1154°C，熔融區間約 208°C，結晶順序依次為氧化物(約 1362°C)、斜輝石(約 1279°C)、橄欖石(約 1257°C)、斜長石(約 1170°C) (圖 3-7)。

3-2-2 礦物化學

一大氣壓下高溫實驗，結晶礦物成分對殘餘岩漿成分之變化有重大影響，本實驗針對氧化物、斜輝石、橄欖石、斜長石等礦物之成分隨結晶溫度變化作分析，藉此了解礦物成分變化趨勢，進而了解其對岩漿成分演化之影響。

3-2-2-1 氧化物

一大氣壓下高溫實驗合成之鈦鐵氧化物成分，如表 3-3 所示，屬於鐵尖晶石(Hercynite)。電子微探分析結果，以四個氧原子為單位，計算陽離子含量比例，依據鈦(Ti)、鋁(Al)、鉻(Cr)含量及鎂(Mg)、鐵(Fe)比例，繪成尖晶石群系列圖(Deer et al., 1992)(圖 3-8)，將鈦(Ti)、鋁(Al)、鉻(Cr)元素莫耳含量作相對比較，鈦(Ti)佔鈦(Ti)、鋁(Al)、鉻(Cr)總量從 9% 至 14%，含量比例隨實驗溫度下降有增加的趨勢；鋁(Al)之含量比例變化較大，佔 77% 至 91%；鉻(Cr)則佔自 1% 至 14%

不等。鐵(Fe)佔鐵(Fe)、鎂(Mg)總量從 64%到 69%，鎂(Mg)則從 30%至 37%不等，隨實驗溫度不同，並無明顯之趨勢變化。

表 3-2、一大氣壓下高溫實驗結果

Run No.	Temp (°C)	Duration (hrs:mins)	Phase(s)
PB23	1381	4:40	G1
PB22	1366	4:00	G1
PB21	1357	4:00	G1+Ox
PB06	1349	4:00	G1+Ox
PB20	1341	4:00	G1+Ox
PB16	1336	4:00	G1+Ox
PB05	1332	4:00	G1+Ox
PB15	1328	4:00	G1+Ox
PB03	1325	5:00	G1+Ox
PB01	1312	5:00	G1+Ox
PB07	1290	22:45	G1+Ox
PB08	1267	7:12	G1+Ox+Cpx
PB11	1247	11:16	G1+Ox+Cpx+Ol
PB13	1241	15:50	G1+Ox+Cpx+Ol
PB12	1239	5:00	G1+Ox+Cpx+Ol
PB17	1223	5:00	G1+Ox+Cpx+Ol
PB19	1214	16:30	G1+Ox+Cpx+Ol
PB10	1208	19:30	G1+Ox+Cpx+Ol
PB02	1206	5:00	G1+Ox+Cpx+Ol
PB09	1182	1:20	G1+Ox+Cpx+Ol
PB18	1176	8:10	G1+Ox+Cpx+Ol
PB14	1164	3:20	G1+Ox+Cpx+Ol+Pl
PB04	1154	5:00	G1+Ox+Cpx+Ol+Pl

Cpx: Clinopyroxene; G1: Glass ; Ol: Olivine; Ox: Fe-Ti Oxides; Pl: Plagioclase

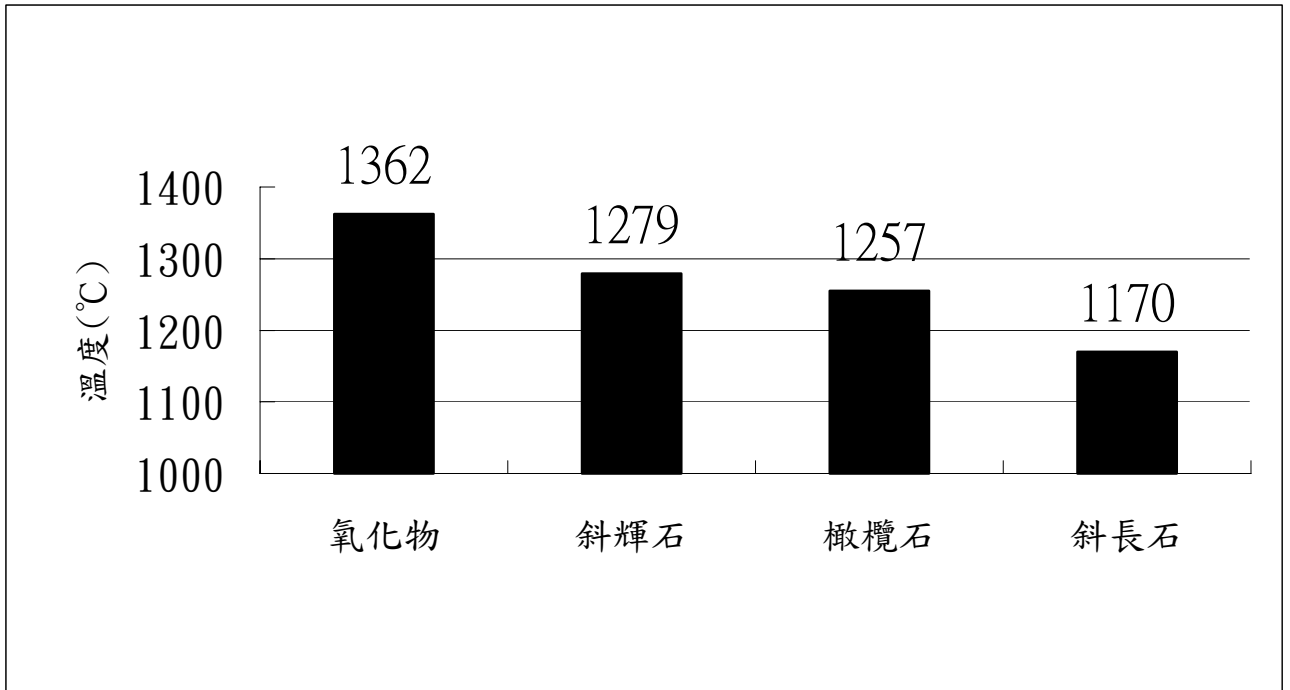


圖 3-7、澎湖北寮地區玄武岩一大氣壓實驗結晶次序圖

表 3-3、氧化物之化學成分表

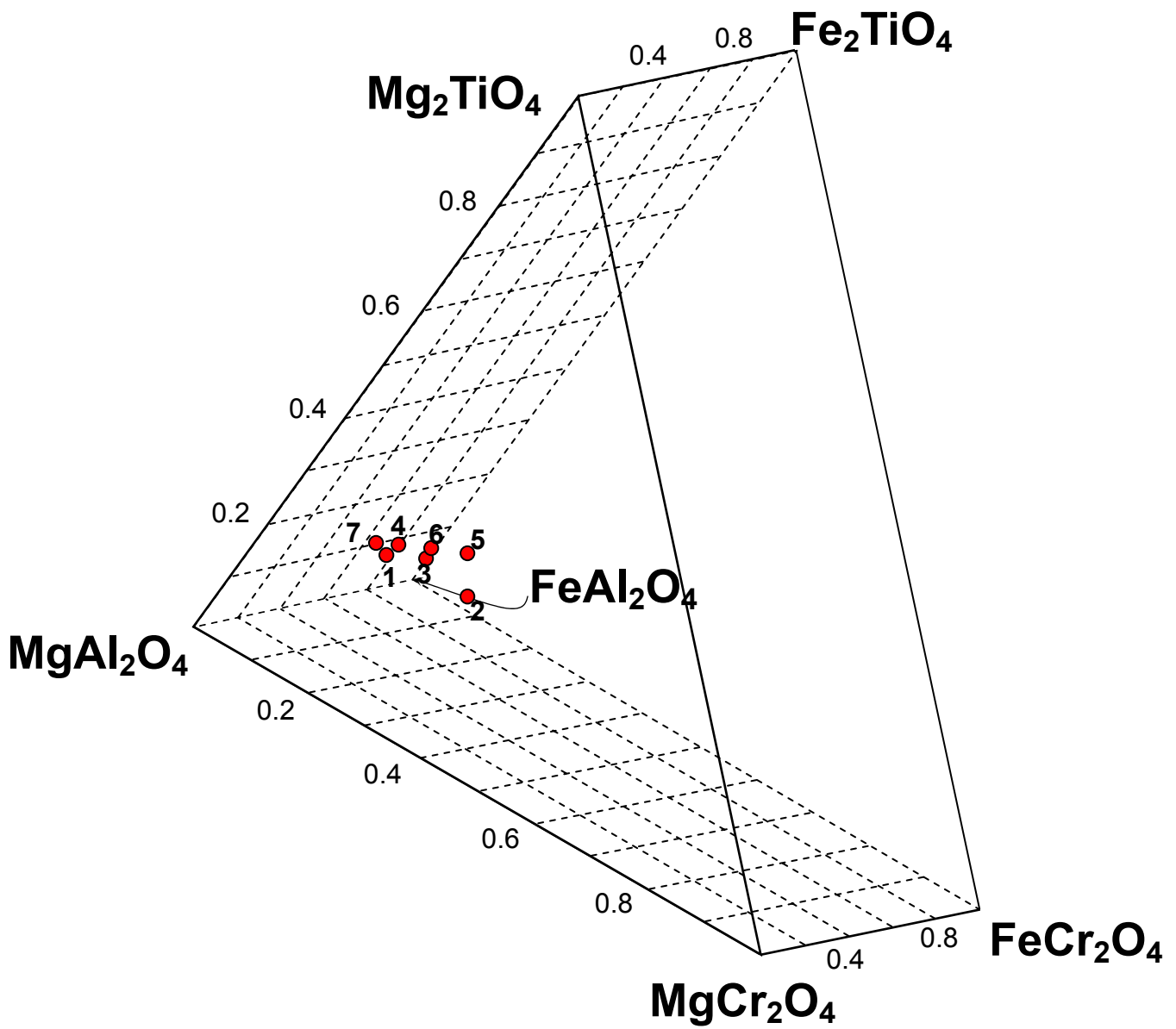
Run No.	PB03	PB07	PB08	PB11	PB12
T(°C)	1325	1290	1267	1247	1239
Avg.of	1	3	3	4	2
<hr/>					
Wt(%)					
SiO ₂	0.20	0.18(0.03)*	0.13(0.01)	0.10(0.03)	0.24(0.09)
TiO ₂	1.52	1.88(0.10)	2.08(0.04)	2.12(0.13)	2.81(0.12)
Al ₂ O ₃	10.35	10.05(0.21)	10.01(0.19)	10.38(0.07)	9.70(0.26)
Cr ₂ O ₃	0.09	2.74(0.42)	1.27(0.29)	0.17(0.03)	1.92(0.28)
tFeO	65.16	58.66(0.88)	59.69(0.58)	60.61(0.80)	63.92(0.17)
MnO	0.14	0.26(0.02)	0.28(0.14)	0.33(0.07)	0.20(0.10)
MgO	16.85	18.08(0.32)	18.48(0.26)	18.75(0.25)	15.43(0.22)
NiO	1.40	0.55(0.11)	0.33(0.12)	0.28(0.11)	0.57(0.07)
CaO	0.06	0.17(0.01)	0.16(0.02)	0.08(0.02)	0.27(0.00)
Na ₂ O	0.03	0.04(0.03)	0.02(0.03)	0.00(0.01)	0.06(0.03)
K ₂ O	0.01	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.02(0.02)
Total	95.81	92.60	92.46	92.83	95.13
<hr/>					
Cations per 4 oxygens					
Si	0.008	0.007	0.005	0.004	0.009
Ti	0.045	0.056	0.062	0.063	0.083
Al	0.478	0.469	0.468	0.483	0.450
Cr	0.003	0.086	0.040	0.005	0.060
Fe	2.136	1.941	1.982	2.004	2.105
Mn	0.005	0.009	0.009	0.011	0.007
Mg	0.985	1.066	1.094	1.105	0.906
Ni	0.044	0.018	0.011	0.009	0.018
Ca	0.002	0.007	0.007	0.003	0.011
Na	0.002	0.003	0.002	0.000	0.005
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
Total	3.708	3.661	3.679	3.688	3.655

* 此括弧內之數字為標準差

表 3-3(續)、氧化物之化學成分表

Run No.	PB19	PB10
T(°C)	1214	1208
Avg.of	4	2
Wt(%)		
SiO ₂	0.16(0.03)*	0.12(0.00)
TiO ₂	2.34(0.12)	1.97(0.12)
Al ₂ O ₃	10.02(0.38)	10.01(0.21)
Cr ₂ O ₃	0.81(0.04)	0.05(0.00)
tFeO	60.06(0.84)	60.99(0.30)
MnO	0.49(0.05)	0.42(0.02)
MgO	20.15(0.51)	18.67(0.39)
NiO	0.43(0.07)	0.64(0.02)
CaO	0.16(0.03)	0.19(0.05)
Na ₂ O	0.02(0.01)	0.00(0.00)
K ₂ O	0.02(0.01)	0.00(0.00)
Total	94.65	93.06
Cations per 4 oxygens		
Si	0.006	0.005
Ti	0.068	0.059
Al	0.455	0.468
Cr	0.025	0.002
Fe	1.936	2.023
Mn	0.016	0.014
Mg	1.158	1.104
Ni	0.013	0.020
Ca	0.007	0.008
Na	0.001	0.000
K	0.001	0.000
Total	3.687	3.702

* 此括弧內之數字為標準差



圖示：1：1325°C 2：1290°C 3：1267°C 4：1247°C 5：1239°C
 6：1214°C 7：1208°C

圖 3-8、一大氣壓下高溫實驗氧化物化學成分圖(Deer et al., 1992)

3-2-2-2 斜輝石

一大氣壓下高溫實驗斜輝石成分，如表 3-4 所示。將各溫度下結晶斜輝石之化學成分，以六個氧為單位計算其陽離子數，如表 3-4 下方所示。計算斜輝石成分，鈣(Ca)、鎂(Mg)、鐵(Fe)含量比例，繪成 Wo-En-Fs 圖(陳正宏，1990) (圖 3-9)，屬於次透輝石(Salite)及普通輝石(Augite)，且發現斜輝石中鈣(Ca)含量隨實驗溫度的下降有增加之趨勢，而鐵(Fe)含量則隨實驗溫度之下降有減少的趨勢。比較李寄嶼(1994)分析之鹼性玄武岩中斜輝石成分，與本實驗低溫結晶之斜輝石成分較接近。

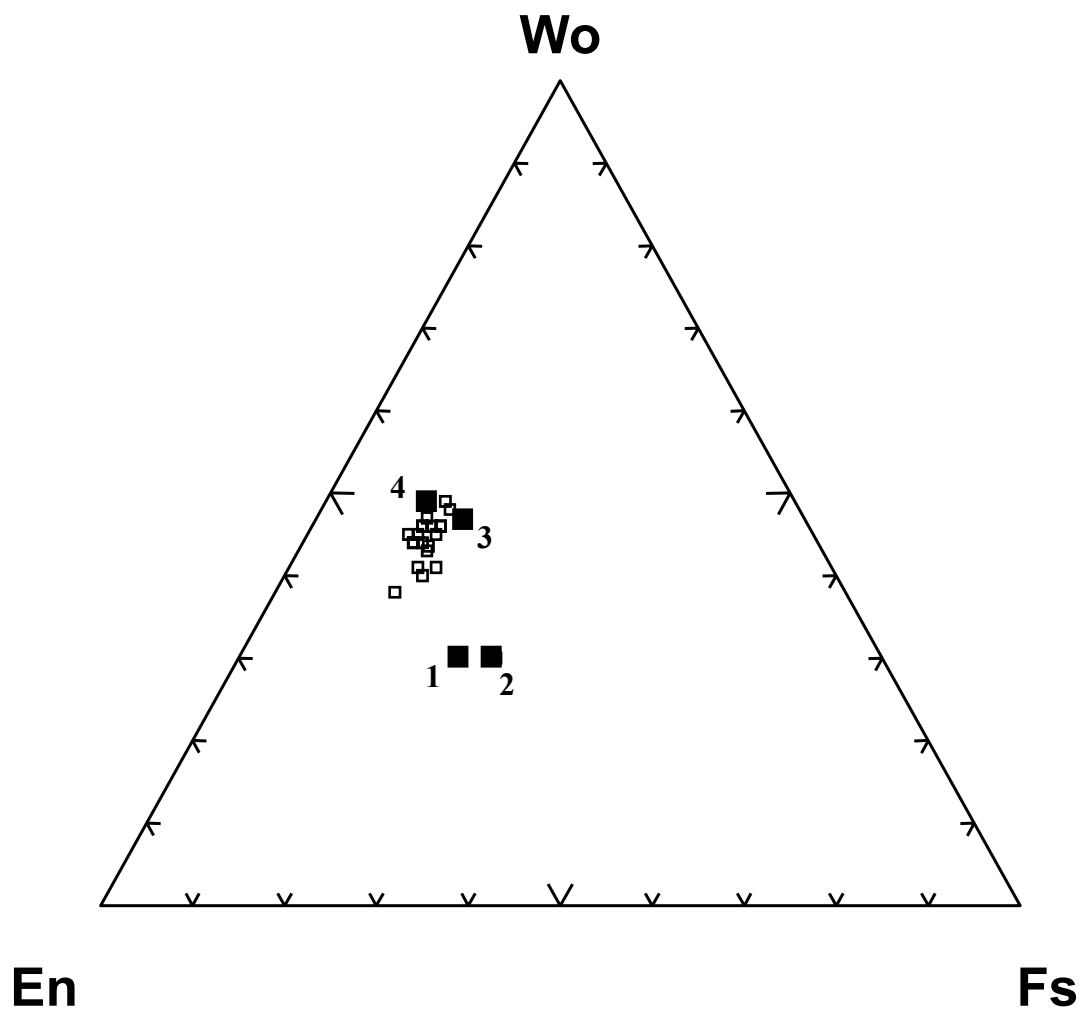
3-2-2-3 橄欖石

一大氣壓下高溫實驗所合成之橄欖石化學成分，如表 3-5 所示。計算各溫度下中鎂橄欖石(Fo)、鐵橄欖石(Fa)比例，Fo 值均高於 90，甚至高達 98(圖 3-10)，隨實驗溫度變化並無明顯趨勢，較李寄嶼(1994)分析澎湖玄武岩中橄欖石成分 Fo 值 46.4 至 92.01 高，原因可能為高溫實驗中使用白金囊包包裹樣本，鐵滲入白金囊包中所造成。比較全岩成分及全熔溫度以上液相成分，亦可發現全岩全氧化亞鐵(tFeO)含量，為 12.21% (表 3-1)，而樣本 PB22，全熔實驗溫度以上 1366 °C，實驗時間 4 小時，岩漿成分中全氧化亞鐵含量(tFeO)僅佔 11.92% (表 3-8)，短少 0.29%，由此可知鐵(Fe)滲入白金囊包之量不大。

表 3-4、斜輝石之化學成分表

Run No.	PB08	PB12	PB10	PB04
T(°C)	1267	1239	1208	1154
Avg. of	1	2	4	4
Wt (%)				
SiO ₂	46.50	45.35(0.04)*	44.79(2.44)	47.08(2.34)
TiO ₂	3.69	3.57(0.07)	2.34(0.51)	3.15(0.82)
Al ₂ O ₃	12.01	12.44(0.10)	7.08(1.35)	6.55(1.77)
Cr ₂ O ₃	0.07	0.02(0.03)	0.04(0.06)	0.13(0.10)
tFeO	9.69	11.53(0.40)	9.95(1.47)	6.46(0.44)
MnO	0.23	0.20(0.08)	0.03(0.03)	0.18(0.11)
MgO	10.19	9.89(0.23)	12.71(1.25)	12.80(1.19)
NiO	0.08	0.07(0.08)	0.04(0.08)	0.04(0.03)
CaO	9.27	9.74(0.07)	22.21(0.15)	21.87(0.18)
Na ₂ O	3.32	3.25(0.09)	0.94(0.56)	0.49(0.04)
K ₂ O	1.68	1.48(0.01)	0.01(0.01)	0.00(0.00)
Total	96.73	97.53	100.14	98.75
Cations per 6 oxygens				
Si	1.770	1.731	1.704	1.774
Ti	0.106	0.102	0.067	0.089
Al	0.539	0.560	0.317	0.291
Cr	0.002	0.001	0.001	0.004
Fe	0.308	0.368	0.317	0.204
Mn	0.007	0.006	0.001	0.006
Mg	0.578	0.563	0.721	0.719
Ni	0.002	0.002	0.001	0.001
Ca	0.378	0.398	0.905	0.883
Na	0.254	0.240	0.069	0.036
K	0.081	0.072	0.000	0.000
Total	4.017	4.043	4.104	4.007
Wo	30	30	47	49
En	46	42	37	40
Fs	24	28	16	11

* 此括弧內之數字為標準差



圖示：本實驗；■1：1267°C 2：1239°C 3：1208°C 4：1154°C

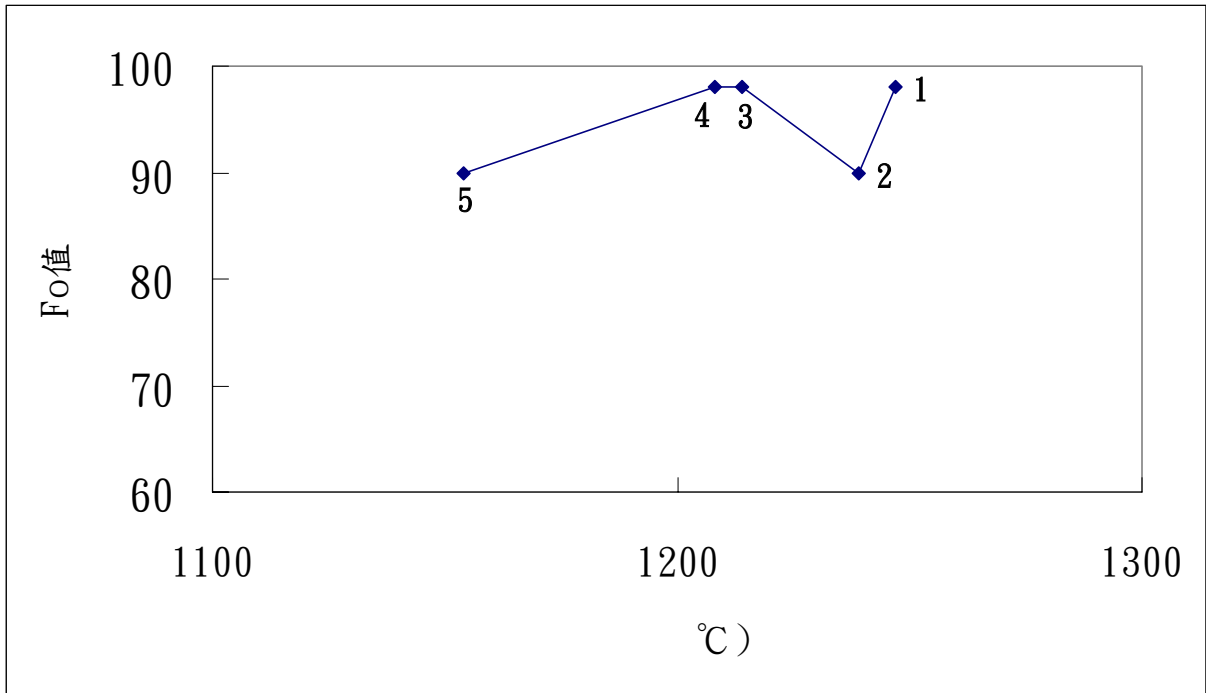
□ 澎湖鹼性玄武岩之斜輝石(李寄嶠， 1994)

圖 3-9、一大氣壓下高溫實驗斜輝石化學成分圖(陳正宏， 1990)

表 3-5、橄欖石之化學成分表

Run No.	PB11	PB12	PB19	PB10	PB04
T (°C)	1247	1239	1214	1208	1154
Avg. of	4	4	2	3	2
Wt (%)					
SiO ₂	41.79(0.46)*	39.72(0.61)	42.46(0.89)	42.64(0.29)	41.44(0.04)
TiO ₂	0.03(0.02)	0.02(0.02)	0.12(0.03)	0.02(0.03)	0.06(0.01)
Al ₂ O ₃	0.09(0.03)	0.14(0.09)	0.26(0.04)	0.04(0.01)	0.00(0.00)
Cr ₂ O ₃	0.02(0.02)	0.07(0.07)	0.04(0.04)	0.04(0.07)	0.01(0.02)
tFeO	1.76(0.06)	9.73(0.07)	2.39(0.07)	2.10(0.13)	9.87(0.29)
MnO	0.19(0.05)	0.12(0.08)	0.25(0.11)	0.09(0.04)	0.15(0.02)
MgO	54.60(0.73)	49.36(0.76)	55.52(0.27)	55.42(0.75)	49.63(0.61)
NiO	0.12(0.16)	0.27(0.06)	0.09(0.01)	0.15(0.07)	0.34(0.07)
CaO	0.28(0.02)	0.25(0.05)	0.36(0.14)	0.22(0.02)	0.10(0.00)
Na ₂ O	0.01(0.01)	0.03(0.02)	0.05(0.02)	0.00(0.00)	0.01(0.02)
K ₂ O	0.00(0.00)	0.02(0.02)	0.02(0.03)	0.00(0.00)	0.00(0.00)
Total	98.89	99.72	101.56	100.73	101.62
Cations per 4 oxygens					
Si	1.000	0.980	0.993	1.002	1.000
Ti	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001
Al	0.003	0.004	0.007	0.001	0.000
Cr	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000
Fe	0.035	0.201	0.047	0.041	0.199
Mn	0.004	0.003	0.005	0.002	0.003
Mg	1.947	1.815	1.935	1.941	1.785
Ni	0.002	0.005	0.002	0.003	0.007
Ca	0.007	0.007	0.009	0.006	0.003
Na	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000
K	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
Total	2.999	3.018	3.003	2.997	2.999
Fo	98	90	98	98	90
Fa	2	10	2	2	10

* 此括弧內之數字為標準差



圖示：1：1274°C 2：1239°C 3：1214°C 4：1208°C 5：1154°C

圖 3-10、一大氣壓下實驗實驗溫度與合成橄欖石 Fo 值圖

合成橄欖石中鐵橄欖石(Fa)含量比例隨實驗時間增加有減少之趨勢，原因可能有二，一為鐵(Fe)滲入白金囊包的量，隨實驗溫度的增加而增加，故岩漿中全量鐵含量減少，橄欖石 Fo 值相對增加；二則可能是玄武岩中亞鐵離子(Fe^{2+})經高溫一大氣壓下實驗易氧化成三價鐵(Fe^{3+})型式，實驗時間越長，則亞鐵離子(Fe^{2+})氧化成三價鐵(Fe^{3+})的量越多，因橄欖石中陽離子主要為亞鐵離子(Fe^{2+})及鎂離子(Mg^{2+})，當橄欖石中亞鐵(Fe^{2+})含量相對減少，則鎂(Mg^{2+})含量相對提高，即造成高 Fo 值的產生。

全岩氧化鐵(tFe_2O_3)和氧化鎂(MgO)含量直接影響橄欖石成分，觀察本實驗樣本全岩全氧化鐵(tFe_2O_3)和氧化鎂(MgO)含量，與李寄嶼(1994)分析澎湖鹼性玄武岩全岩成分比較(表 3-6、圖 3-11)，發現全岩全氧化鐵(tFe_2O_3)重量百分比均相近，但氧化鎂(MgO)含量與本實驗樣本比較明顯偏高，可能是造成結晶橄欖石 Fo 值偏高之原因。

綜合以上討論，本實驗橄欖石 Fo 值偏高，可能因為樣本全岩成分氧化鎂(MgO)含量偏高、實驗時亞鐵氧化為三價鐵及鐵(Fe)滲入白金囊包，三種因素造成。

3-2-2-4、斜長石

本實驗斜長石晶出溫度為 1170°C ，斜長石成分，如表 3-7 所示。

繪成 An-Ab-Or 圖(圖 3-12)，比較李寄嶼(1994)分析鹼性玄武岩之斜長石，與本實驗斜長石成分重疊。

表 3-6、澎湖地區鹼性玄武岩全岩氧化鎂、氧化鐵含量及橄欖石

Fo 值比較表(李寄嶼， 1994)

樣本編號	取樣數	橄欖石平均 Fo 值	全岩氧化鎂 (MgO) 含量 (Wt%)	全岩氧化鐵 (Fe ₂ O ₃) 含量 (Wt%)
PB22*			10.42	13.23
A103	3	81.50(2.11) ¹	9.44	12.08
B201	3	84.56(2.26)	9.71	12.3
B301	4	82.17(1.75)	6.36	10.57
B102	4	88.20(2.74)	10.44	12.45
N201	4	72.01(2.10)	9.01	11.93
N301	4	80.27(3.21)	8.73	12.73
N901	4	77.38(1.76)	7.82	12.57

*本實驗全熔溫度以上 1366°C 之液相成分

1 此括弧內之數字為標準差

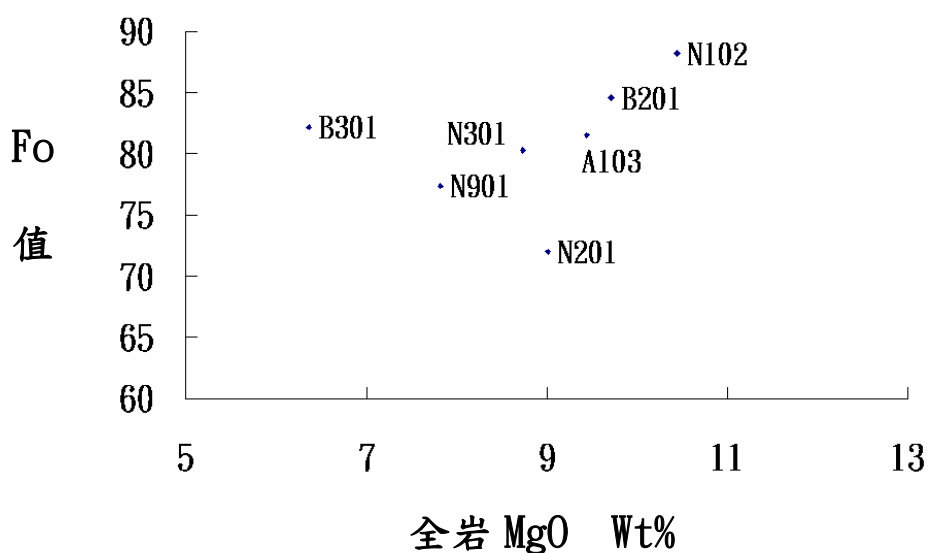


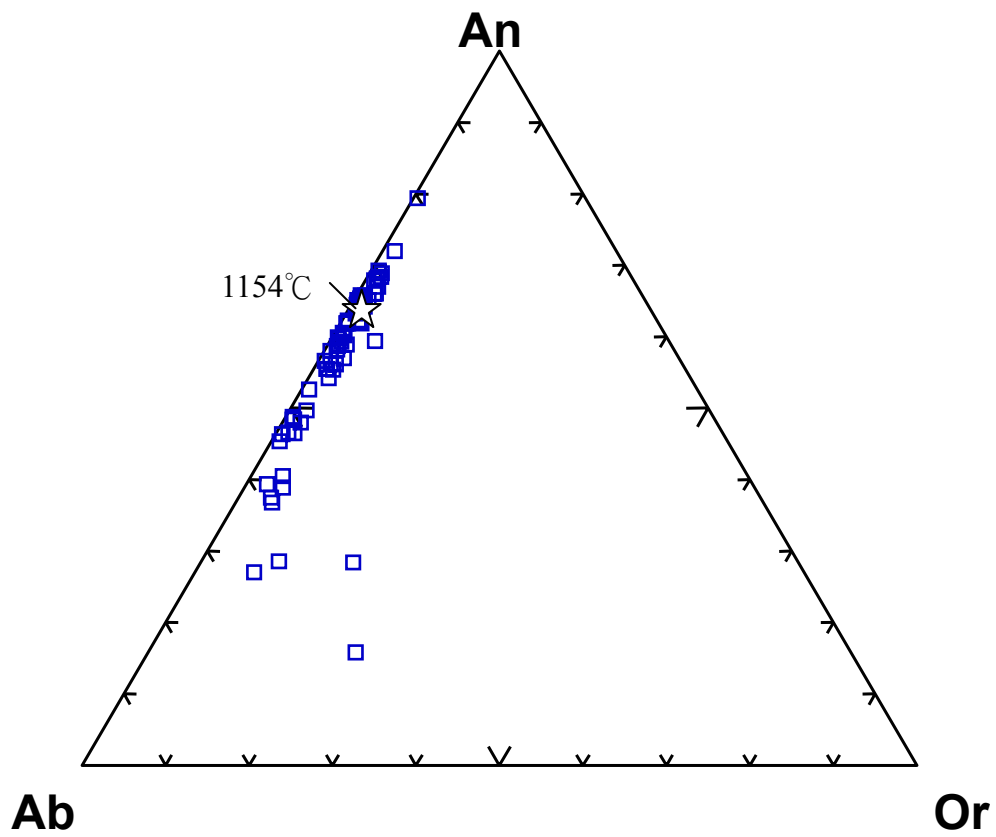
圖 3-11、澎湖地區鹼性玄武岩全岩氧化鎂、氧化鐵含量及橄欖石

Fo 值比較圖(李寄嶼， 1994)

表 3-7、斜長石之化學成分表

Run No.	PB04
T (°C)	1554
Avg. of	3
<hr/>	
Wt(%)	
SiO ₂	51.49(1.30)*
TiO ₂	0.17(0.04)
Al ₂ O ₃	29.74(1.13)
Cr ₂ O ₃	0.05(0.04)
tFeO	0.65(0.14)
MnO	0.03(0.02)
MgO	0.10(0.04)
NiO	0.00(0.01)
CaO	13.06(0.26)
Na ₂ O	3.48(0.10)
K ₂ O	0.29(0.11)
Total	99.06
<hr/>	
Cations per 8 oxygens	
Si	2.365
Ti	0.006
Al	1.610
Cr	0.002
Fe	0.025
Mn	0.001
Mg	0.007
Ni	0.000
Ca	0.643
Na	0.310
K	0.017
Total	4.986
<hr/>	
An	66
Ab	32
Or	2
<hr/>	

* 此括弧內之數字為標準差



圖說：☆ PB04 實驗溫度 1154°C

□澎湖玄武岩中之斜長石(李寄嶠， 1994)

圖 3-12、一大氣壓下高溫實驗與澎湖玄武岩之斜長石化學成分圖

3-3、澎湖北寮地區鹼性玄武岩之岩漿演化

3-3-1 液相成分隨溫度之變化趨勢

一大氣壓下高溫實驗玻璃(殘餘岩漿)化學成分，如表 3-8 所示。隨實驗溫度下降，礦物結晶，使得殘餘岩漿成分隨著實驗溫度改變而發生變化。將殘餘岩漿化學成分對實驗溫度作圖(圖 3-13)，整體而言，可發現隨實驗溫度下降殘餘岩漿二氧化矽(SiO_2)含量有增加的趨勢；氧化鈣(CaO)、氧化鈉(Na_2O)和氧化鉀(K_2O)含量也有增加的趨勢，其中氧化鈉(Na_2O)和氧化鉀(K_2O)含量在斜長石晶出後，明顯下降；氧化鎂(MgO)及全氧化鐵(tFeO)含量成分隨岩漿演化呈現下降趨勢。

3-3-2、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 圖

將殘餘岩漿成分點入 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 圖 (圖 3-14)，可發現隨實驗溫度之下降二氧化矽(SiO_2)含量與氧化鈉加氧化鉀($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)含量有增加的趨勢，且殘餘岩漿成分均落入鹼性岩(Alkaline)區域。

Le Bas et al., (1986)依據火成岩 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 含量比例繪成火成岩分類圖，將殘餘岩漿成分點入(圖 3-15)，可發現平衡狀態殘餘岩漿成分由碧玄武岩(Tephrite Basanite)演化至粗面玄武岩(Trachybasalt)、玄武岩(Basalt)、玄武岩質粗面安山岩(Basaltic trachyandesite)，符合 Kuno(1959)提出鹼性玄武岩系(Alkali rock series)趨勢(alkali olivine basalt – trachyandesite - trachyte)。

表 3-8、一大氣壓下高溫實驗玻璃化學成分表

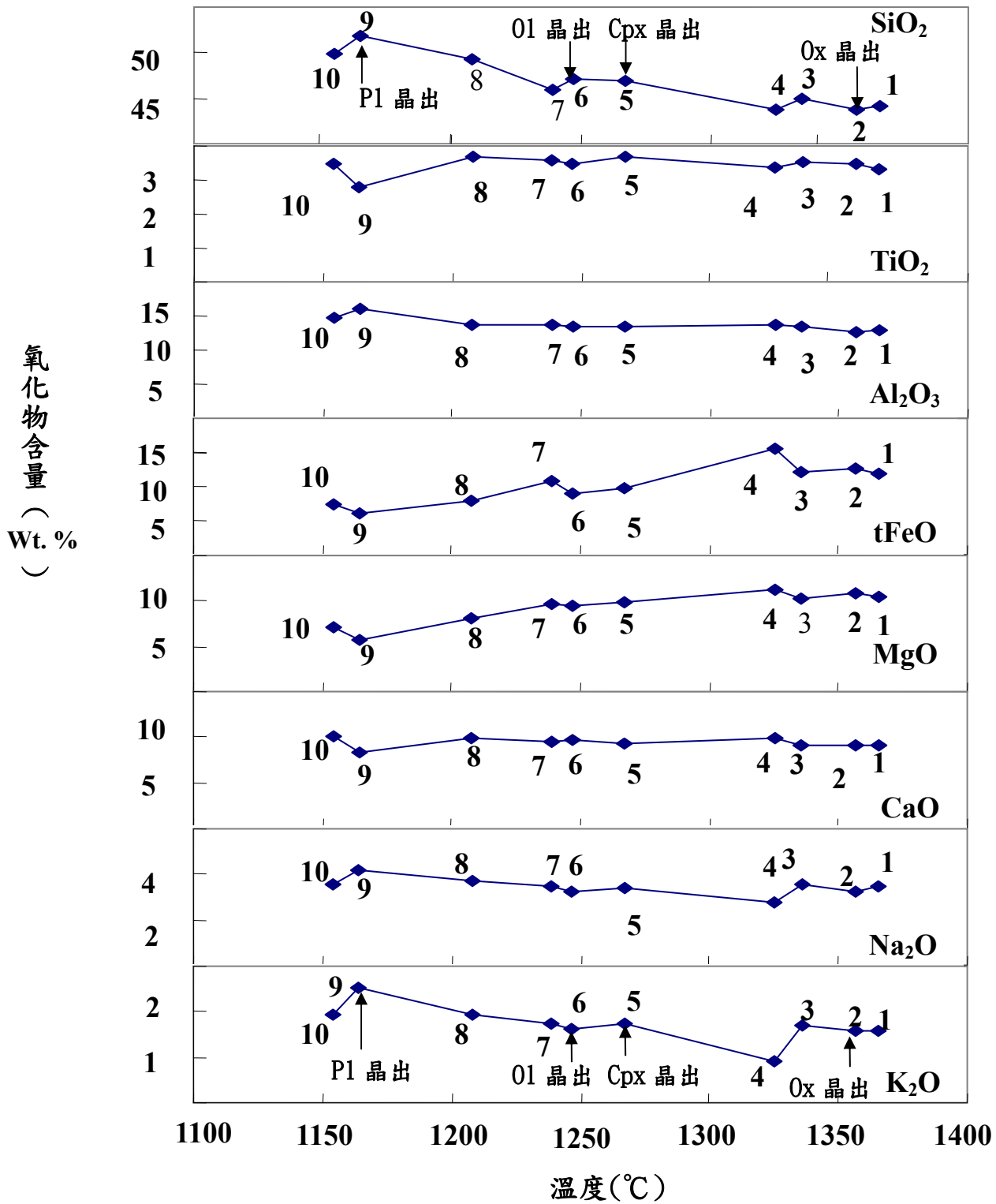
Run No.	PB22	PB21	PB16	PB03	PB08
T (°C)	1366	1357	1336	1325	1267
Avg. of	4	2	8	1	1
Wt (%)					
SiO ₂	44.23(0.18)*	43.68(0.05)	44.84(0.34)	43.77	46.88
TiO ₂	3.29(0.09)	3.48(0.16)	3.52(0.14)	3.36	3.66
Al ₂ O ₃	13.01(0.32)	12.66(0.44)	13.34(0.24)	13.68	13.34
Cr ₂ O ₃	0.13(0.14)	0.07(0.11)	0.09(0.06)	0.00	0.11
tFeO	11.92(0.12)	12.61(0.08)	12.19(0.28)	15.51	9.77
MnO	0.19(0.12)	0.14(0.20)	0.14(0.07)	0.14	0.11
MgO	10.42(0.32)	10.80(0.07)	10.24(0.07)	11.22	9.81
NiO	0.06(0.02)	0.08(0.11)	0.08(0.11)	0.00	0.00
CaO	8.99(0.13)	9.11(0.11)	9.16(0.11)	9.81	9.37
Na ₂ O	3.47(0.12)	3.25(0.12)	3.52(0.08)	2.76	3.37
K ₂ O	1.59(0.02)	1.56(0.02)	1.71(0.04)	0.89	1.74
Total	97.29	97.42	98.84	101.13	98.16
C. I. P. W. Norm					
Or	9.40	9.22	10.11	5.26	10.28
Ab	8.15	6.59	7.84	6.97	14.93
An	15.23	15.35	15.55	22.31	16.13
Ne	11.49	11.33	11.89	8.88	7.36
Di	23.96	24.36	24.41	21.67	24.56
Ol	22.64	23.88	22.22	29.67	17.78
Il	6.25	6.61	6.69	6.38	6.95
Cm	0.19	0.10	0.13	0.00	0.16
Total	97.30	97.44	98.83	101.14	98.16
AN(%)	65.15	69.97	66.49	76.19	51.94

* 此括弧內之數字為標準差

C. I. P. W. Norm：標準礦物組成之計算

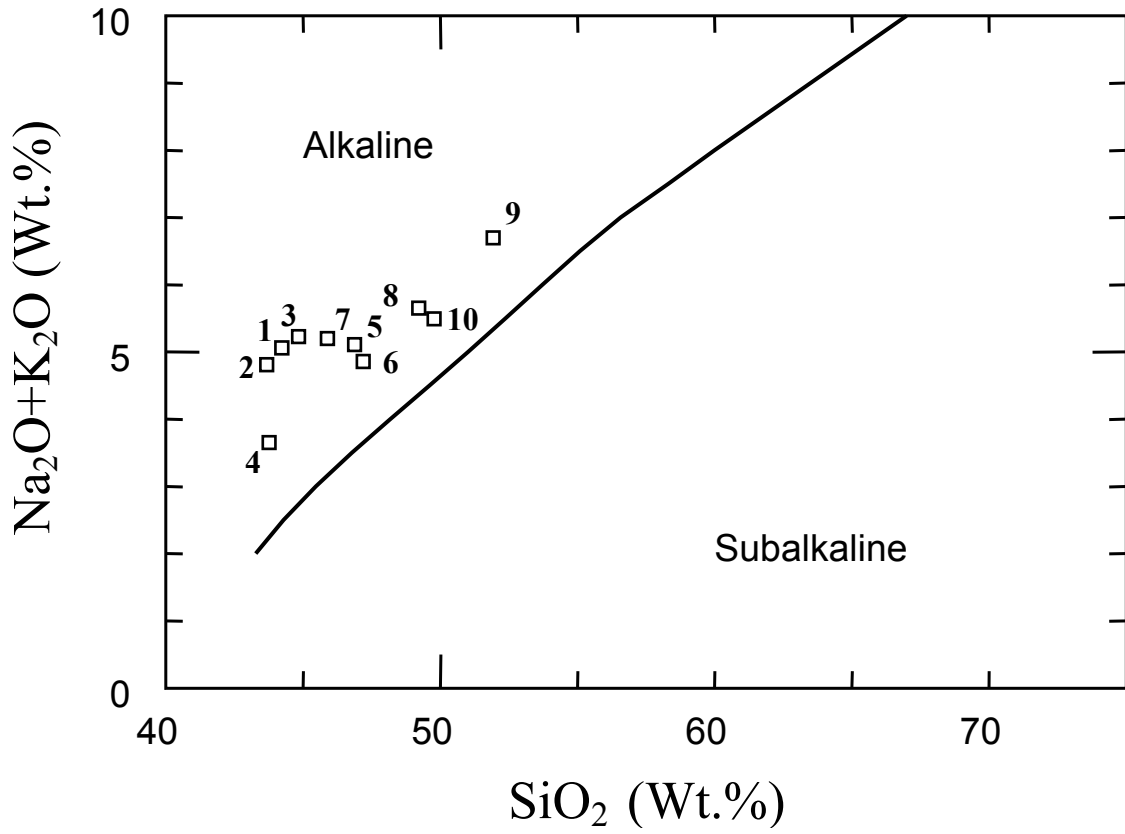
表 3-8 (續)、一大氣壓高溫實驗玻璃化學成分表

Run No.	PB11	PB12	PB10	PB14	PB04
T(°C)	1247	1239	1208	1164	1154
Avg. of	1	4	5	4	3
Wt (%)					
SiO ₂	47.19	45.90(0.28)	49.22(0.16)	51.93(0.23)	49.78(0.12)
TiO ₂	3.49	3.58(0.07)	3.70(0.12)	2.80(0.10)	3.50(0.05)
Al ₂ O ₃	13.30	13.64(0.29)	13.80(0.09)	15.96(0.43)	14.86(0.32)
Cr ₂ O ₃	0.00	0.04(0.05)	0.06(0.05)	0.0190(0.01)	0.04(0.03)
tFeO	8.95	10.80(0.14)	7.93(0.17)	6.01(0.11)	7.45(0.19)
MnO	0.08	0.10(0.07)	0.15(0.08)	0.09(0.09)	0.21(0.02)
MgO	9.41	9.75(0.07)	8.15(0.08)	5.72(0.12)	7.18(0.10)
NiO	0.00	0.08(0.09)	0.05(0.07)	0.07(0.04)	0.00(0.00)
CaO	9.74	9.45(0.04)	9.86(0.09)	8.20(0.12)	10.06(0.10)
Na ₂ O	3.24	3.46(0.10)	3.72(0.13)	4.19(0.60)	3.54(0.04)
K ₂ O	1.62	1.74(0.03)	1.93(0.06)	2.51(0.06)	1.95(0.05)
Total	97.01	98.55	98.58	97.49	98.57
C. I. P. W. Norm					
Or	9.57	10.28	11.41	14.83	11.52
Ab	16.90	11.03	19.76	29.16	21.85
An	16.96	16.55	15.26	17.33	18.90
Ne	5.70	9.88	6.35	3.41	4.39
Di	5.33	24.67	27.14	18.88	25.05
Ol	15.93	19.26	11.54	8.55	10.15
Il	6.63	6.80	7.03	5.32	6.65
Cm	0.00	0.06	0.09	0.01	0.06
Total	97.02	98.54	98.57	97.49	98.57
AN (%)	50.09	60.00	43.56	37.27	46.38



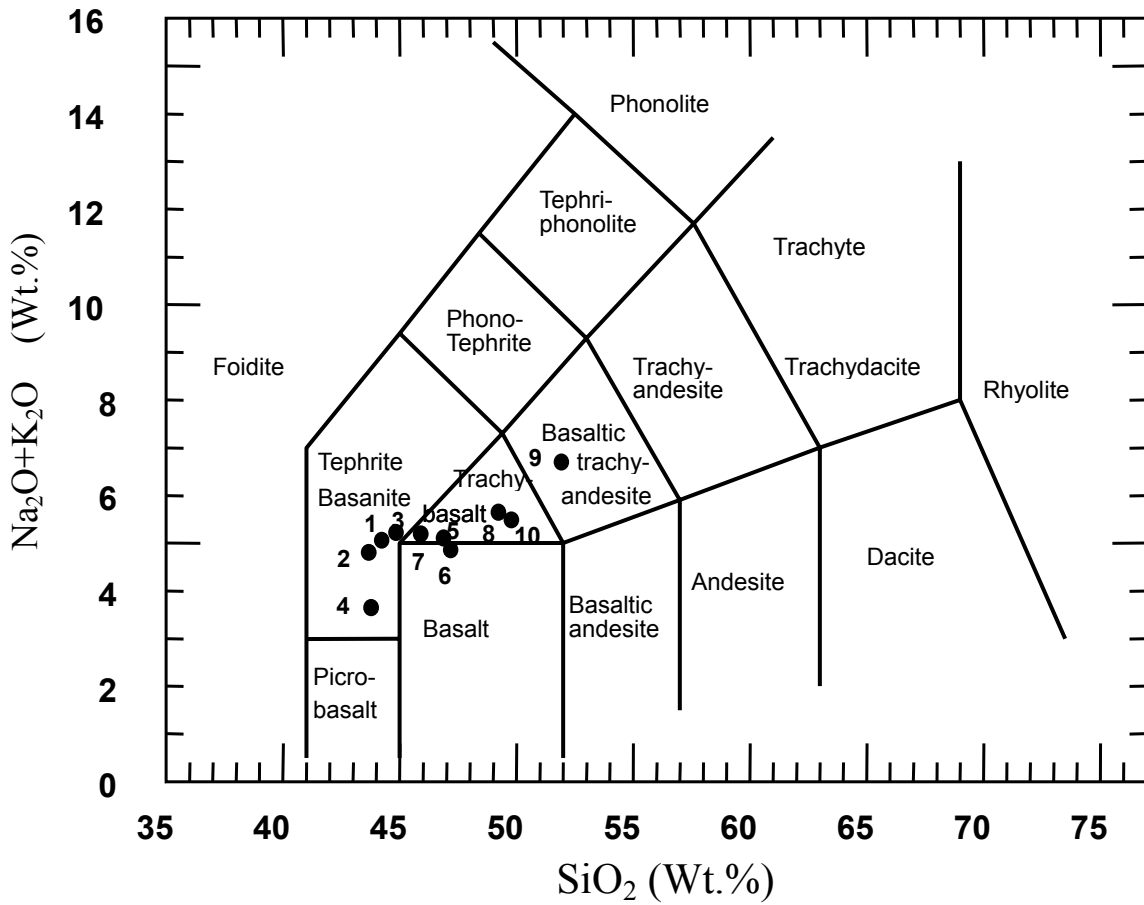
圖說：1：1366°C 2：1357°C 3：1336°C 4：1325°C 5：1267°C
 6：1247°C 7：1239°C 8：1208°C 9：1164°C 10：1154°C

圖 3-13、一大氣壓下高溫實驗玻璃成分隨溫度之變化趨勢圖



圖說：1：1366℃ 2：1357℃ 3：1336℃ 4：1325℃ 5：1267℃
 6：1247℃ 7：1239℃ 8：1208℃ 9：1164℃ 10：1154℃

圖 3-14、玻璃成分 Na₂O+K₂O-SiO₂ 圖



圖說：1：1366℃ 2：1357℃ 3：1336℃ 4：1325℃ 5：1267℃
 6：1247℃ 7：1239℃ 8：1208℃ 9：1164℃ 10：1154℃

圖 3-15、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 與 SiO_2 關係圖 (LeBas et al., 1986)

3-3-3 鹼金族氧化物-全量鐵-氧化鎂圖(AFM 圖)

AFM 圖常用來解釋岩漿演化趨勢，將各實驗溫度下殘餘岩漿成分點入 AFM 圖(圖 3-16)，岩漿初期成分分布於矽質玄武岩系(Tholeiitic)及鈣鹼岩系(Calc alkaline series)區之間，隨實驗溫度下降，殘餘岩漿成分落入鈣鹼岩系區域，且鹼金族氧化物含量有富集現象，當斜長石晶出後，鹼金族氧化物含量隨之減少。

3-3-4 結晶相圖

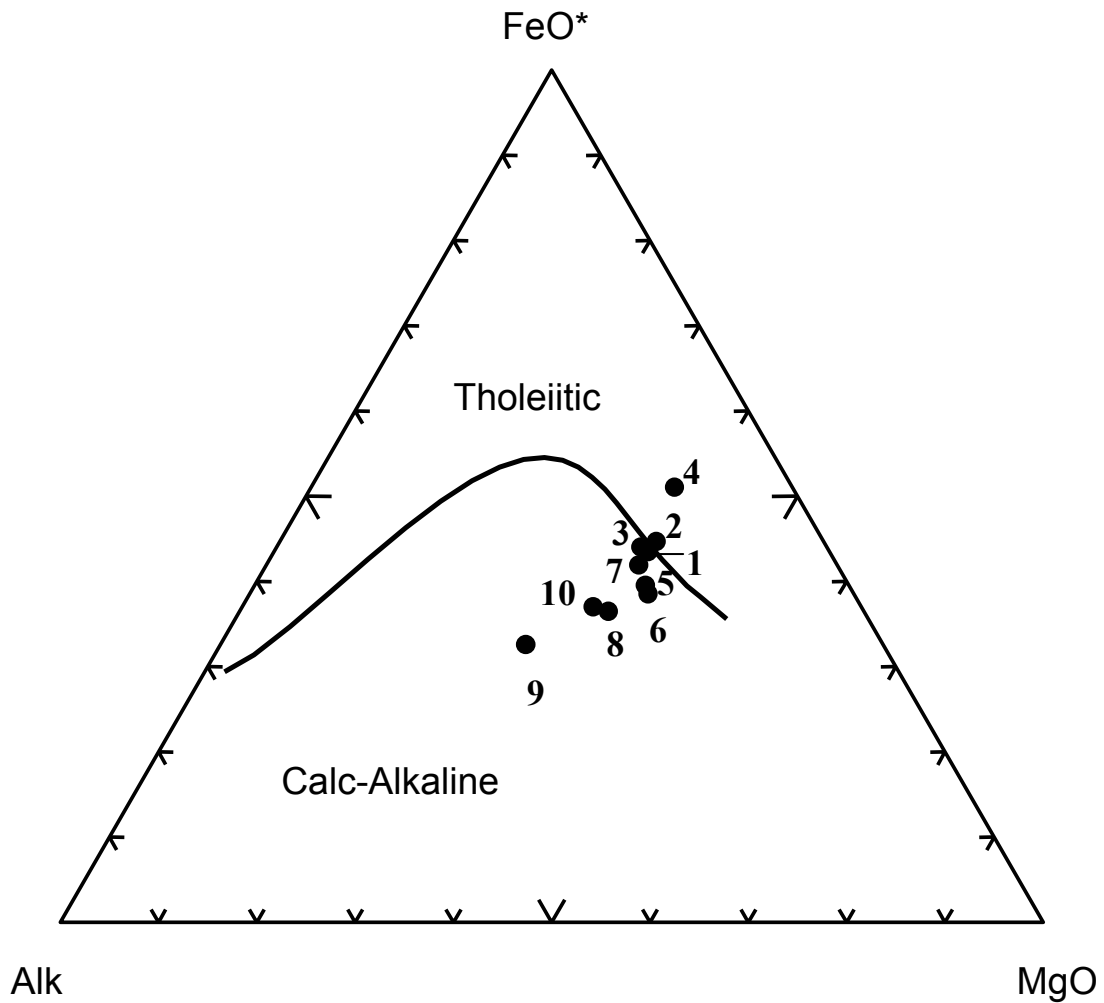
將殘餘岩漿成分點入 Sack et al. (1987)所提出 $T=1150^{\circ}\text{C}$ 、 $f_{\text{O}_2}=-8.16$ 相圖中(圖 3-17)，發現本實驗殘餘岩漿成分結晶相均落入橄欖石(olivine)區域，隨實驗溫度之下降，殘餘岩漿成分隨溫度下降向透輝石(diopside)區域趨近。

本實驗初晶為斜輝石，並非橄欖石，此原因可能為 Sack et al.(1987)所繪結晶相圖為還原環境下($f_{\text{O}_2}=-8.16$)結晶，而本實驗在一大氣壓下空氣中進行反應，屬氧化環境，且此相圖為多成分相圖之投影，必須考慮岩石多成分端及相邊界之投影情況，故此相圖只能供參考。

3-3-5 殘餘岩漿玄武岩四面體圖

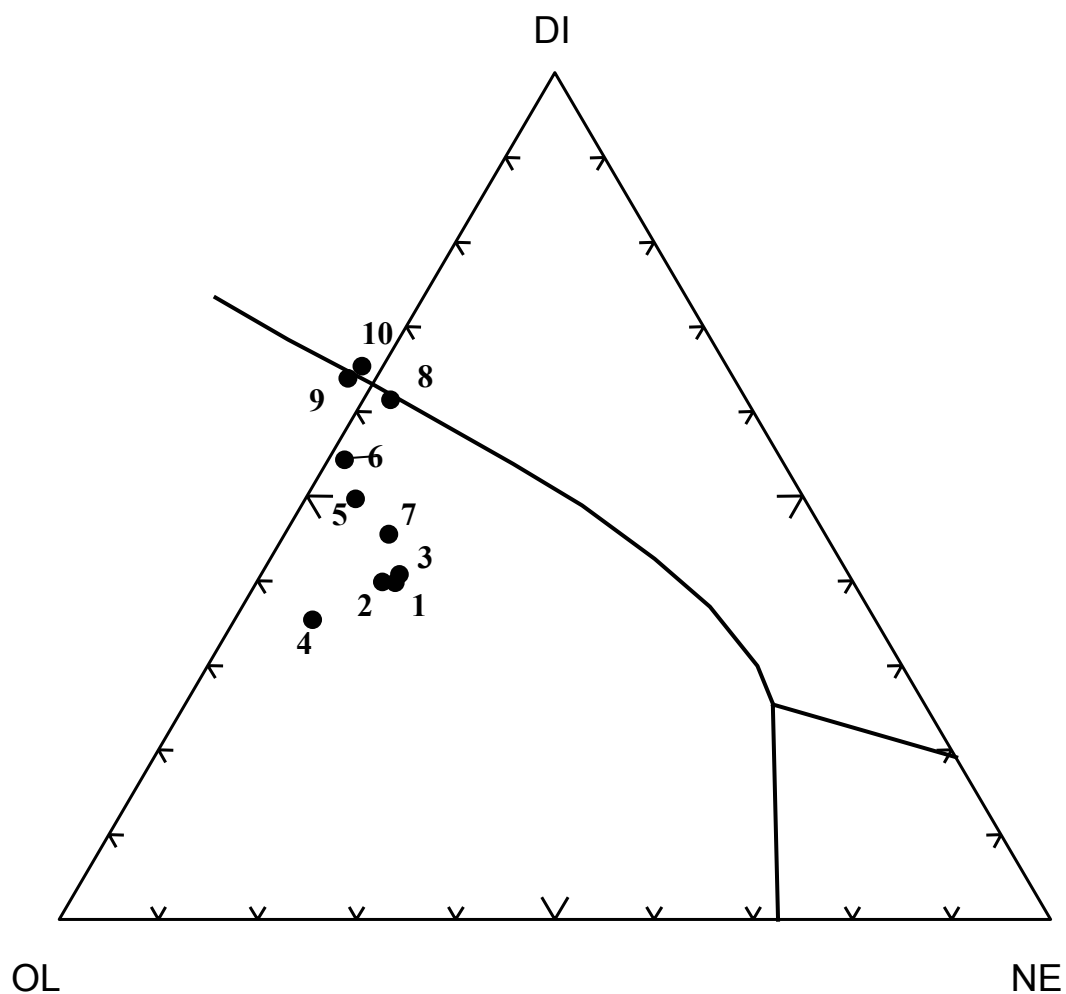
應用 Iqpet 99 程式計算殘餘岩漿應存礦物含量，如表 3-9 下方所示。將計算值點入 Yoder and Tilley (1962)所提出玄武岩四面體圖中

(圖 3-18)，發現本實驗殘餘岩漿成分，均屬鹼性橄欖石玄武岩(Alkali olivine basalt)，且隨岩漿演化，應存礦物中透輝石(diopside)含量有增加的趨勢，而霞石(nepheline)及橄欖石(olivine)有減少的趨勢。



圖說：1：1366°C 2：1357°C 3：1336°C 4：1325°C 5：1267°C
6：1247°C 7：1239°C 8：1208°C 9：1164°C 10：1154°C

圖 3-16、澎湖北寮地區玄武岩一大氣壓下殘餘岩漿 AFM 圖

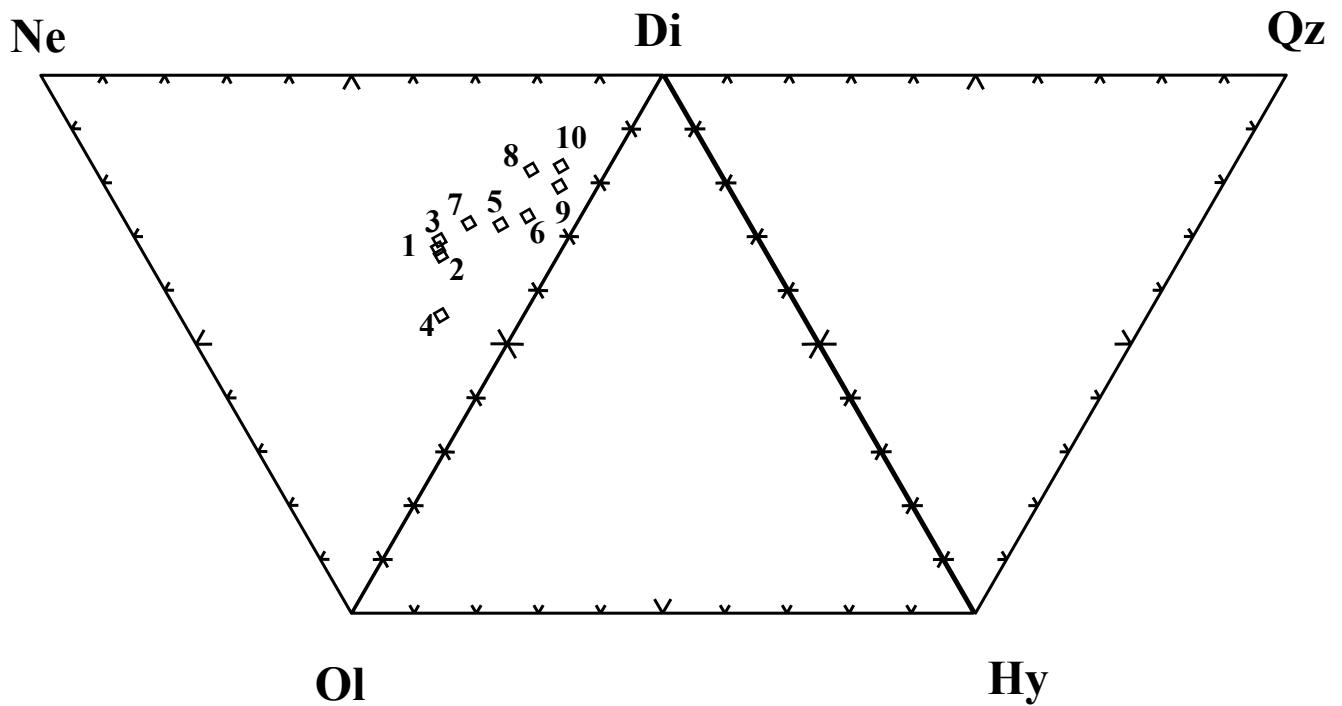


NE=nepheline(霞石)；DI=diopside(透輝石)；OL=olivine(橄欖石)

圖說：1：1366℃ 2：1357℃ 3：1336℃ 4：1325℃ 5：1267℃
 6：1247℃ 7：1239℃ 8：1208℃ 9：1164℃ 10：1154℃

圖 3-17、一大氣壓下高溫實驗玻璃成分點入 T=1150℃ 相圖

(Sack et al., 1987)



Ne=nepheline(霞石)；Di=diopside(透輝石)；Ol=olivine(橄欖石)

Hy=hypersthene(紫蘇輝石)；Qz=Quartz(石英)

圖說：1：1366℃ 2：1357℃ 3：1336℃ 4：1325℃ 5：1267℃
 6：1247℃ 7：1239℃ 8：1208℃ 9：1164℃ 10：1154℃

圖 3-18、一大氣壓下高溫實驗玻璃成分玄武岩四面體圖

(Yoder and Tilley， 1962)