

濟州島 北西部 涯月一高山地域 火山岩體의 岩石力學的 特性

이 論文을 理學碩士 學位論文으로 提出함

大學院 地質學科 應用地質學專攻

崔 鈺 坤

指導教授 金 永 琪

崔鈺坤의 理學碩士 學位論文을 認准함

1990年 12月

主審

崔 景 雨

金 永 琪

金 相 旭



慶北大學校 大學院委員會

감사의 글

本 研究를 遂行함에 있어서 항상 細心한 指導助言과 함께 研究의 方向을 제시 하여 주신 金永琪 指導教授님께 깊은 감사를 드리며 그리고 本 論文의 기초자료를 提供하여 주시고 격려 하여 주신 安東大學 黃尙九 教授님, 動力資源研究所의 崔淳學 博士님과 아울러 野外調査時 및 늘 격려와 助言을 아끼지 아니 한 鄭教澈, 任明赫, 李珍國 先輩와 張潤得 學兄께 심심한 감사를 드린다. 또한 野外 및 室內作業을 통해 논문이 나오기 까지 굳은 일 마다 하지 않고 많은 도움을 준 地質工學研究室의 千聖煥, 서용석 後輩, 그리고 科內的 모든 동기생, 선후배들께도 감사의 마음을 전 한다.

끝으로 本 論文이 나오기 까지 헌신적 뒷바라지를 아끼지 않으신 父母님께 가장 깊은 感謝를 드리며 이 論文을 바칩니다.

目 次

序 言	1
地形 및 地質	3
測定 및 試驗	7
1. 物性	7
1). 單位重量(r_t)	8
2). 空隙率(n)	8
3). 間隙比(e)	12
4). 含水率(w)	12
2. 氣孔	14
1). 表面氣孔率(S_{vp})	14
2). 氣孔 모양(V_g)	17
3). 氣孔 크기(V_s)	22
4). 氣孔破壞角($V_{f.a}$)	22
3. 壓縮強度	25
考 察	29
1. 強度特性	29
2. 應力性	38
3. 破壞性	42
結 言	46
寫眞說明	48
參考文獻	50
英文抄錄	53

序 言

濟州島에 對한 一般地質學的(地史 및 岩石學, 岩石化學)研究는 많은 研究者(金玉準 1965, 李商萬 1966, 尹銑 1970, 元鐘寬 1975, 李文遠 1982)들에 依해 폭넓게 研究되어 왔지만 應用地質 즉, 地質工學的 側面에서의 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

濟州島는 火山岩體로 이루어져 있어서 生成時 부터 多量의 氣孔(vesicle)이 存在하고, 冷却收縮作用에 依해 柱狀節理(columnar joint)가 발달하고 있다. 이같이 암반에 존재하는 氣孔(vesicle)이나, 柱狀節理 등은 不連續性이 되고, 이러한 岩盤의 不連續性은 應力の 傳達 과 分布의 異方性을 나타내게 되어 암체의 強度特性을 左右 하게 된다. 또한 암체의 分離性은 大型構造物(댐, 터널 等)의 建設時에 發生되는 地盤沈下問題 等を 惹起 시켜 岩盤 不安定性을 초래케 하는 主要한 原因이 되고있다. 그러므로 不連續性은 岩盤의 力學的 性質을 評價하는데 있어서 주요한 變數가 된다.

佐武(1983)는 多孔質 火山岩과 같은 암체에서는 氣孔을 하나의 分離面, 破壞面으로 간주하고, 應力은 이같은 破壞面을 따라서 應力の 集中現象이 일어나 암체는 破壞된다고 하였다. 즉, 氣孔의 本포상, 氣孔의 모양(Vesicle shape), 表面氣孔率(Surface vesicle-porosity), 氣孔破壞角(Vesicle failure angle) 및 氣孔크기 (Vesicle size)에 對한 分析은 多孔質 火山岩體의 역학적 성질 究明에 주된 要素라 할수 있다. 따라서 本 研究에서는 岩體內에 존재하는 氣孔을 分離面, 破壞面으로 그리고 各 氣孔의 長經과 水平面이 이루는 角은 氣孔破壞角으로 간주하였다. 이 角을 破壞角으로 設定하여 이 角의 발달에 따라 強應力 異方性을 갖는 本 岩體의 力學的 性質을 究明 하

고자 한다.

本 研究 對象地域은 濟州島 北西部 涯月 - 高山地域一帶로서 行政區域上 濟州道 北濟州郡 涯月邑(錦城里, 鳳城里, 納邑里), 翰林邑(瓮浦里, 明月里, 挾才里), 翰京面(高山里, 新昌里, 造水里, 清水里)等を 包含하는 北緯 $33^{\circ} 20'$ 에서 $33^{\circ} 27'$, 東經 $126^{\circ} 17'$ 에서 $126^{\circ} 10'$ 의 範圍에 該當되는 地域이다.

그리고 本域에 분포하는 火山岩體를 對象으로 68個 地點에서 試料를 採取 (core drill)하여 研究 되었다.

地形 및 地質

本域에 分布하는 岩石은 주로 第四紀 Pleistocene의 玄武岩 과 火山碎屑性 堆積層 그리고 Holocene의 噴石丘(cinder cone)와 砂丘(sand dune)로 構成되어 있다(Fig.1).

濟州島 西部地域에서는 表善里 玄武岩(FOB), 城山層(SSF), 下孝里 玄武岩(FB-1), 始興里 玄武岩(APB)의 順으로 分布하며, 그 上位에 Pleistocene의 漢拏山 粗面岩質 安山岩(FB-II)과 Holocene의 噴石丘(CD)가, 最上位에는 Holocene의 砂丘(SD)가 놓인다(元鐘寬 1975, 李文遠 1982).

涯月 - 高山地域을 中心으로 하여 海岸地帶에는 많은 量의 玄武岩質 熔岩이 分布 하는데 대체로 2-5度의 低平한 地形傾斜를 갖는 熔岩臺地狀을 나타내고 있다. 河川의 發達은 微弱하지만 涯月邑의 錦城川, 翰林邑의 翰林川 등이 南北方向을 따라서 小規模로 발달하고, 雨期를 除外하고는 물이 흐르지 않는 乾川이다. 本域에서는 表善里 玄武岩(FOB)이 가장 넓게 分布 하고, 이는 針狀의 長石과 橄欖石의 斑晶을 含有하는 치밀한 岩石이다. 또한 龜甲狀 柱狀節理가 잘 發達하고 있고, 多孔質이고 氣孔의 크기가 큰 것이 特徵이다. 이 表善里 玄武岩(FOB)은 4-16 枚의 熔岩流가 일류 하였음이 試錐調査 結果에서 밝혀졌다(農振公, 1986). 이들 熔岩流와 熔岩流 사이에는 火山碎屑物이 扶在하고 있다. 城山層(SSF)은 주로 高山地域 海안가를 중심으로 唐山峰(148m)과 水月峰(74m)을 따라 分布한다. 담회색 내지 암회색을 띄우는 細粒 및 組粒質 凝灰岩으로 固結度가 낮으며 이는 火山活動과 관련이 있는 것으로 思料된다. 高山里 一帶에서는 表善里 玄武岩 上位에 薄層으로 分布한다. 始興里 玄武岩(APB)은 構成 岩石이 斑狀輝石玄武岩이고 회

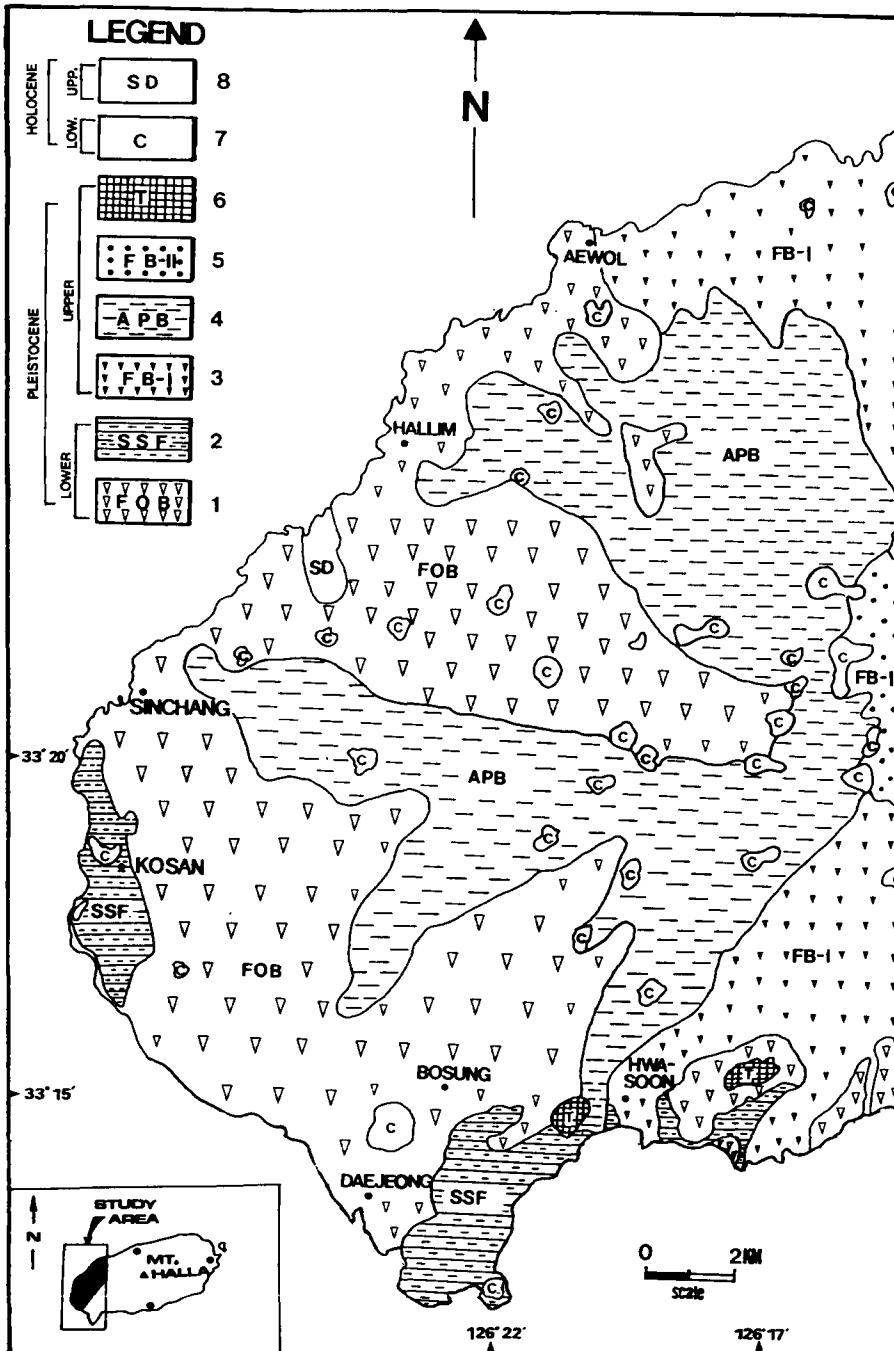


Fig.1. Geological map in the vicinity of the Aewol-Kosan area and western part in cheju island(after Won.J. K, 1975);

- 1.Pyeosunri basalt(FOB), 2.Sungsan Fm(SSF), 3.Hahyori basalt(FB-1), 4.Sihungri basalt(APB), 5.Hallasan trachyte andesite(FB- II), 6.Sanbansan trachyte(T), 7.Cinder cone(C), 8.Sand dune(SD).

색 내지 암회색으로 比較的 緻密하다. 또 非顯晶質 및 多孔質로서 氣孔은 길쭉한 막대모양을 나타내며 方向性을 보여 熔岩流의 流動方向을 示唆해 주고 있다. 表善里 玄武岩(FOB)이 始興里 玄武岩(APB)보다 氣孔이 많이 發達하고 있다.

噴石丘는 本 地域에 於道오름(143m), 발이오름(759m), 새별오름(519m), 과오름(155m), 금오름(430m), 망오름(225m), 개구리오름(257m), 정월오름(106m), 천아오름(100m), 괴오름(651m)等 約 10 餘個로 東西長軸 方向을 따라서 分布하며, Holocene 以後의 後火山活動에 依해 이루어 졌을 것으로 思料된다. 주로 자색 내지 담황색의 cinder 로 構成되며 火山砂, 火山灰 및 火山彈 等を 包含한다. 砂丘(sand dune)는 挾才里 및 郭支里 海안가에 分布하며 貝砂로 構成되어 있다.

本域 및 西部地域에는 濟州島의 다른 地域보다도 많은 數의 噴石丘가 發達하고 있는데, 특히 翰林地域 협재리, 金寧里 一帶와 涯月地域 於音里 一帶에는 濟州島에 發達하고 있는 81個의 熔岩洞窟中 협재굴(307m), 쌍용굴(114m), 빌레못굴(11,749m)等を 비롯하여 23個의 熔岩洞窟이 分布하고 있다. 翰林川內 明月國校正門 앞과 錦城川內의 정지천에서는 大規模의 陷沒帶와 熔岩동굴도 認知되고 있다. 또 涯月邑 於音 2 里 附近에는 이 地域 噴石丘中의 하나인 발이오름(759m)에서 發源되는 빌레못 熔岩洞窟이 海拔高度 225 m에서 N50W 方向으로 發達하는데 이 地點은 海岸低地帶와 中山間地帶를 境界짓는 斜面의 傾斜分岐点이 되고 있다(元鐘寬, 1989).

本域 및 濟州島 地域에서 熔岩의 噴出時期 와 各 地層間의 對比에 對한 研究는 타네다(1970), 農業振興公社(1971), 元鐘寬(1975), 李文遠(1982)等 이 있다.

本研究에서 岩種別 噴出順序와 地質系統은 “濟州島의 形成過程과 火山活動에 關한 研究(元鐘寬, 1975)”의 分類案을 따랐다(Table 2).

Table 1. Volcanic stratigraphy correlation of the study area and cheju island by Taneda(1970), Won.J.K(1975), Lee.M.W(1982).

시 대	타네다(1970)	농진공(1971)	원종관(1975)	이문원(1982)
홀로세		사구(SD) 신더콘(C)	본석구	
플 후 라 이 기 스	한라산현무암	장석현무암(FB-VII) 조면질안산암(TA-III) 조면질안산암(TA-II)	백록담현무암 한라산조면암질 안산암	산양리층 한라산 조면암
	비현정질현무암	장석현무암(FB-VI) 장석현무암(TB-V) 장석현무암(FB-IV)	한라산현무암	
	휘석현무암	반상휘석현무암(PAB-III) 반상휘석현무암(PAB-II)	성판악현무암	한라산 하와이트
	제주현무암	비현정질현무암(PAB) 조면질안산암(TA-I)	시흥리현무암	성악판 하와이트
	알카리현무암	반상휘석현무암(PAB-II) 조면암(T-III)	법정리조면암	시흥리 하와이트
		장석현무암(FB-III) 장석현무암(FB-II) 반상장석현무암(PFB-I) 반상휘석현무암(PAB-I)	하효리현무암 제주현무암	법정리 뮤지어라이트 하효리 하와이트
토 중 기	서귀포 lava			각섬석 뮤지어라이트
	산방산 lava	신양리층(SYF)	신양리층	산방산조면암
세 전 기		장석현무암(FB-I) 휘석현무암(AB) 조면암(T-II)	중문조면암	중문 하와이트
		성산층(SSF) 조면암(T-I)	성산 및 화순층 서귀포조면암	성산층 서귀포 하와이트
		침상장석현무암(FOB)	표선리현무암	표선리 알카리현무암
플라이 오 세	서귀포층	서귀포층	서귀포층	서귀포층
	한라산알카리	기저현무암	기저현무암	기저현무암
시 대 미 상	화강암	화강암	화강암	화강암

測定 및 試驗

1. 物性

岩石의 物性(physical properties)은 그 岩石의 組織과 構成成分에 좌우되며 이는 또한 岩體의 기본적 性質을 意味한다.

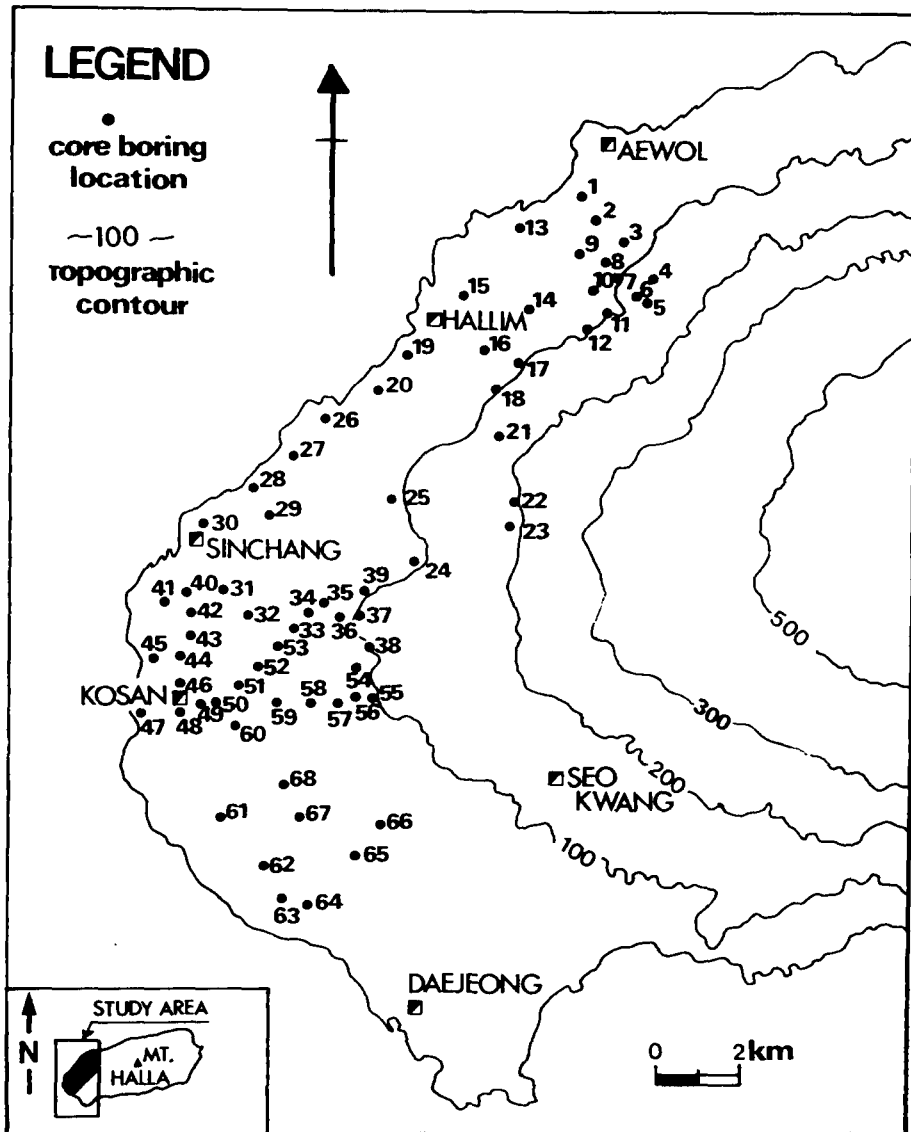


Fig.2. Core boring location map of the study area.

따라서 物性에 對한 測定 및 檢討는 火山岩體의 力學的 性質 究明에 重要한 基礎資料로 活用될수있다. 이를 위하여 涯月地域 錦城川으로 부터 高山地域 전담동 一帶에 이르는 調査地域에 對하여 68地點에서 試料를 採取하였다(Fig. 2). 採取된 試料를 直徑 2.5cm, 높이 5cm로 直徑 對 높이의 比를 1 : 2로 整形하여 各種 物性を 測定하였다. 測定된 物性は 單位重量(r_t), 空隙率(n), 間隙比(e), 含水率(w)等이다(Table 2).

單位重量(r_t)

本域에서 比重 및 眞體積의 測定이 氣孔 發達로 어려워 故로 單位重量을 測定하였다. 單位重量(r_t)는 그 岩體의 單位體積當 重量(g/cm^3)으로서

$$r_t = \frac{W}{V} \quad (g/cm^3) \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

W: 試料의 무게 V: 試料의 체적

로 表示될 수 있다. 本域에서의 單位重量은 $1.76 - 2.89 \text{ g/cm}^3$ 로서 넓은 分布範圍를 가지는데 이는 氣孔의 影響이라 思料된다.

空隙率(n)

空隙率은 그 岩體의 物理的 性質을 支配하는 重要한 要因의 하나로서 岩石의 全體積에 對한 空隙의 比率을 말한다. 즉 岩石의 치밀성을 意味하며, 本域에서 空隙率은 氣孔의 影響을 받고 있는데 이같이 多量의 氣孔이 物性を 支配하는 多孔質 玄武岩(Vesicular basalt)地域에서의 空隙率(n) 算定法을 提示하면

Table 2. Measured values of unit weight(γ_t), porosity(n), void ratio(e), and water content(w) of collected samples in the study area.

Sample No.	Unit weight (γ_t)	Porosity (n)	Void ratio (e)	Water content (w)
B 1	2.79	14.89	0.17	3.34
B 2	2.24	30.73	0.44	9.60
B 3	2.19	24.73	0.32	6.89
B 4	2.36	31.92	0.46	8.08
B 5	1.85	35.94	0.56	13.87
B 6	2.36	25.22	0.33	6.99
B 7	2.62	26.98	0.36	7.37
B 8	2.26	26.01	0.35	7.25
B 9	2.38	19.78	0.24	7.09
B 10	2.27	31.91	0.46	9.38
B 11	2.21	24.12	0.31	8.08
B 12	2.28	32.09	0.47	9.61
B 13	2.46	19.65	0.24	8.09
B 14	2.14	32.32	0.47	9.61
B 15	2.14	29.02	0.40	4.46
B 16	2.59	24.34	0.32	8.32
B 17	2.19	33.46	0.59	8.01
B 18	2.55	19.31	0.23	5.22
B 19	2.31	24.43	0.32	5.19
B 20	2.25	27.49	0.37	6.99
B 21	2.51	16.78	0.20	4.22
B 22	2.51	22.22	0.28	5.19
B 23	2.42	20.84	0.26	5.48
B 24	2.70	15.26	0.18	2.79
B 25	1.93	42.57	0.74	9.16
B 26	2.05	35.82	0.55	7.64
B 27	2.34	28.01	0.38	5.17
B 28	2.73	26.08	0.35	2.88
B 29	2.22	27.60	0.38	7.67
B 30	2.25	26.75	0.36	6.75
B 31	2.37	25.18	0.33	6.67
B 32	2.54	16.27	0.19	4.26
B 33	1.97	27.93	0.38	9.53
B 34	1.92	42.30	0.73	10.55
B 35	2.57	19.32	0.23	5.84
B 36	2.24	24.68	0.32	7.78
B 37	2.44	21.66	0.27	5.81
B 38	2.41	18.00	0.21	5.14
B 39	2.26	32.63	0.48	7.40
B 40	2.09	35.67	0.55	7.73
B 41	2.66	16.09	0.19	3.21
B 42	2.01	30.67	0.44	9.06
B 43	2.31	24.41	0.32	6.40
B 44	1.99	42.38	0.73	8.40
B 45	2.09	33.85	0.51	10.29
B 46	2.21	34.50	0.52	6.40
B 47	1.86	51.44	1.05	19.57
B 48	2.05	33.54	0.50	6.97
B 49	2.14	34.70	0.53	6.21
B 50	2.02	40.48	0.68	9.98
B 51	2.04	39.12	0.64	9.65
B 52	2.11	40.64	0.68	9.61
B 53	2.04	34.14	0.51	7.30
B 54	2.47	22.19	0.28	5.72
B 55	1.98	35.52	0.55	7.54
B 56	2.51	17.60	0.21	5.07
B 57	2.18	37.82	0.60	8.53
B 58	2.22	29.88	0.42	7.83
B 59	2.63	19.10	0.23	4.16
B 60	1.76	47.67	0.91	11.38
B 61	2.32	27.49	0.37	7.17
B 62	2.13	35.40	0.54	6.18
B 63	2.14	36.03	0.58	6.45
B 64	2.54	20.54	0.25	5.50
B 65	2.49	19.35	0.23	5.20
B 66	2.32	29.53	0.41	4.94
B 67	2.32	35.48	0.54	9.32
B 68	2.05	37.07	0.58	8.05

- 供試體의 겉보기 體積을 구한다($V = \pi r^2 \times h$).
- 供試體의 表面空隙을 구한다. 『 $n_s = V - V'$ (n_s :표면공극)」
- 試料를 다시 48시간 蒸溜水 에 충분히 飽和시킨다. 試料는 眞空펌프 (vacuum pump)를 使用하여 內部氣孔속에 충분히 물을 침투시켜 이것을 꺼집어 내어 무게를 測定 한다(표면물기 제거)(V_w).
- 供試體를 dry oven에 48시간 건조시킨후 무게(V_d)를 측정한다.
- 公試體의 內部空隙을 求한다.
『 $n_i = V_w - V_d$ (n_i : 供試體 內部空隙)」
- 公試體의 全體空隙을 求한다.
『 $n_t = n_i + n_s$ (n_t :供試體 全體空隙)」

따라서

空隙率(n)은

$$n = \frac{V - V_{true}}{V} \times 100(\%) \text{ ----- } \textcircled{2}$$

에서 $V_{true} = V - n_t$ 이다.

그러므로

$$n = \frac{V - (V - n_t)}{V} \times 100(\%) \text{ ----- } \textcircled{3}$$

이다.

위 式에서 求한 本域의 空隙率은 14.89 - 51.44(%)의 범위를 가져 空隙率의 差가 심함을 보이고 있다. 特히 火山碎屑性 堆積層(城山層)에서는 最高值인 51.44%를 나타내고 있다.

地域別로는 涯月地域이 平均 26.5%, 翰林地域이 平均 26.6%, 高山地域이 平均 30%로 高山地域이 가장 높게 나타났다.

間隙比(e)

間隙比는 間隙量의 大小를 判別할 수 있고 岩體의 空隙係數에 해당되는 岩體의 壓密性度 나타낸다.

$$e = \frac{V_t - V_v}{V_v} \text{ ----- ④}$$

V_t : 겉보기 體積 V_v : 空隙의 體積

本域 火山岩體의 間隙比 範圍는 0.17 - 1.05이며, 특히 城山層(SSF)에서는 1을 넘고 있다. 間隙比의 分布범위가 넓은 것은 玄武岩體에서는 氣孔의 影響이 절대적이고, 火山碎屑性 堆積層에서는 未固結로 因한 弛密성의 缺如때문으로 思料된다. 따라서 이 間隙比(e)가 本域 火山岩體의 物性和 力學的 性質을 決定짓는 지시자 役割을 하리라 思料된다. Fig.3에 間隙比(e)와 單位重量(r_t)과의 關係와 地域的 分布特性을 나타내었다.

含水率(w)

含水率(w)은

$$w = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 (\%) \text{ ----- ⑤}$$

w_d : 乾燥된 試料의 무게

w_s : 飽和된 試料의 무게

의 關係이며 岩體內的 含水狀態를 파악하기 위한 것이다. 含水量이 크면 그 岩體의 強度는 弱化된다. 本 火山岩體는 2.79 - 19.57%의 範圍를 가진다.

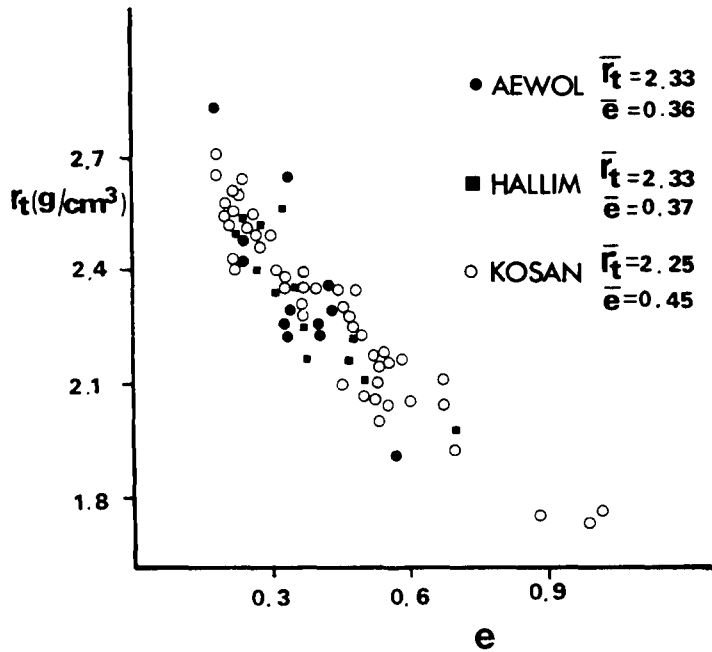


Fig.3. Relationship between void ratio(e) and unit weight(r_t) of Aewol, Hallim, and Kosan area by collected samples in the study area.

2. 氣孔

濟州島 地域의 熔岩體는 生成初期부터 多量의 氣孔이 發達해 있다. 本域 火山岩體內에 發達하고 있는 氣孔의 發達狀 및 分布狀에 對한 定量的인 評價를 實施하였다.

表面氣孔率(Svp)

먼저 採取된 試料를 炭本하여 平面化 시켰다. 平面化된 試料로 부터 單位面積當 表面氣孔의 分布密度로 부터 試料表面에 分布하는 表面氣孔率을 測定하여 表面氣孔이 物性에 미치는 影響을 分析 하였다(Fig.4).

$$Svp = \frac{V_v}{V_T} \times 100 (\%) \quad \text{-----} \quad \text{⑥}$$

Svp: 表面氣孔率 V_T : 全體表面積 V_v : 表面氣孔面積

測定된 表面氣孔率을 보면, Svp의 範圍는 0.7 - 36.9 %로 多樣함을 보이고, 地域的인 分布狀을 보면 涯月地域이 1.6 - 32.1%로 $\overline{Svp} = 13.5 \%$, 翰林地域 1.0 - 30.2%로 $\overline{Svp} = 15\%$, 高山地域이 0.7 - 36.9 %로 $\overline{Svp} = 15.5 \%$ 의 最高値를 나타내고 있다. 이같은 다양한 氣孔의 分布狀이 本域 火山岩體의 強度特性和 地質力學的 性質을 좌우하리라 思料된다. 따라서 氣孔分布狀이 岩盤에 미치는 影響을 檢討하기 위하여 氣孔狀을 分析하였다.

Fig.5는 氣孔의 長經과 短經 그리고 氣孔破壞角을 측정하는 方法을 나타낸 것이다. 測定上의 便宜를 위하여 記號를 表示하였다.

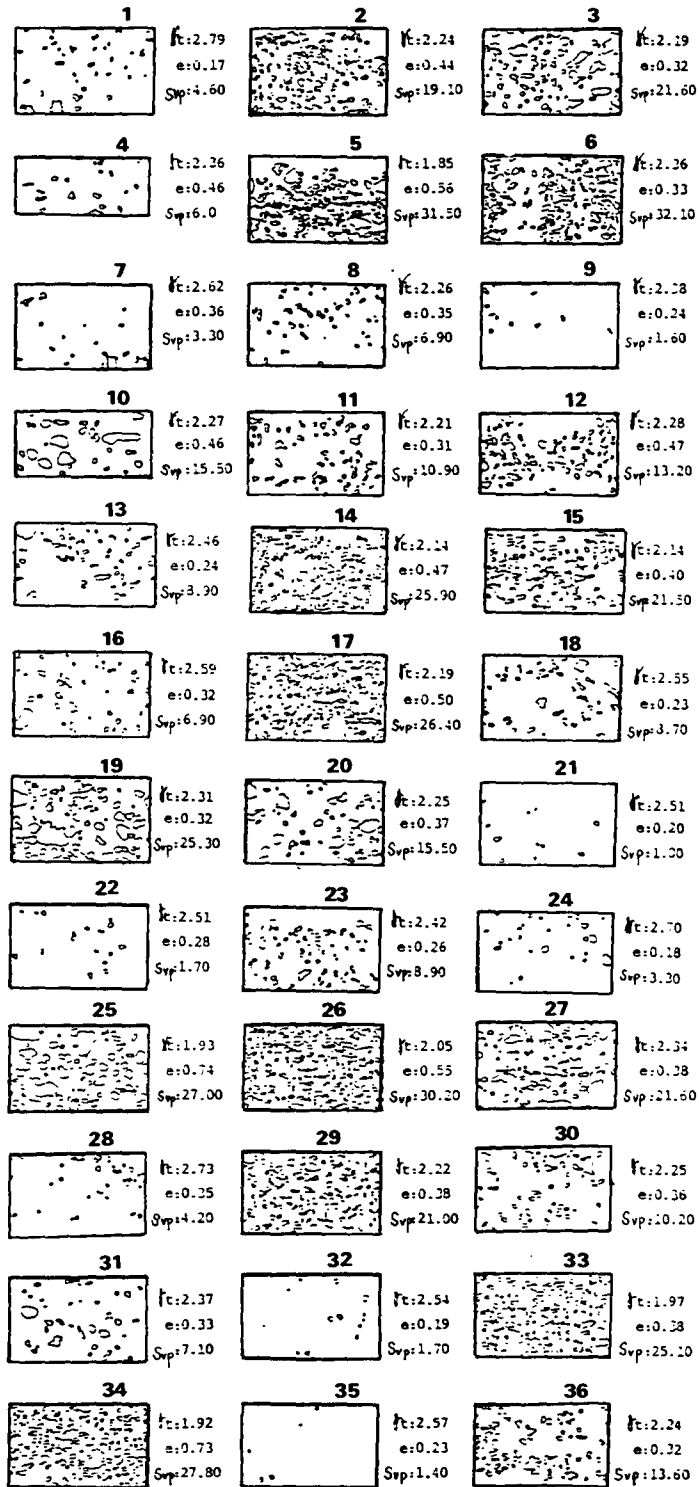


Fig.4. Surface vesicle-positivity (Svp) of planed samples in the vicinity of the Aewol - Kosan area in cheju island.

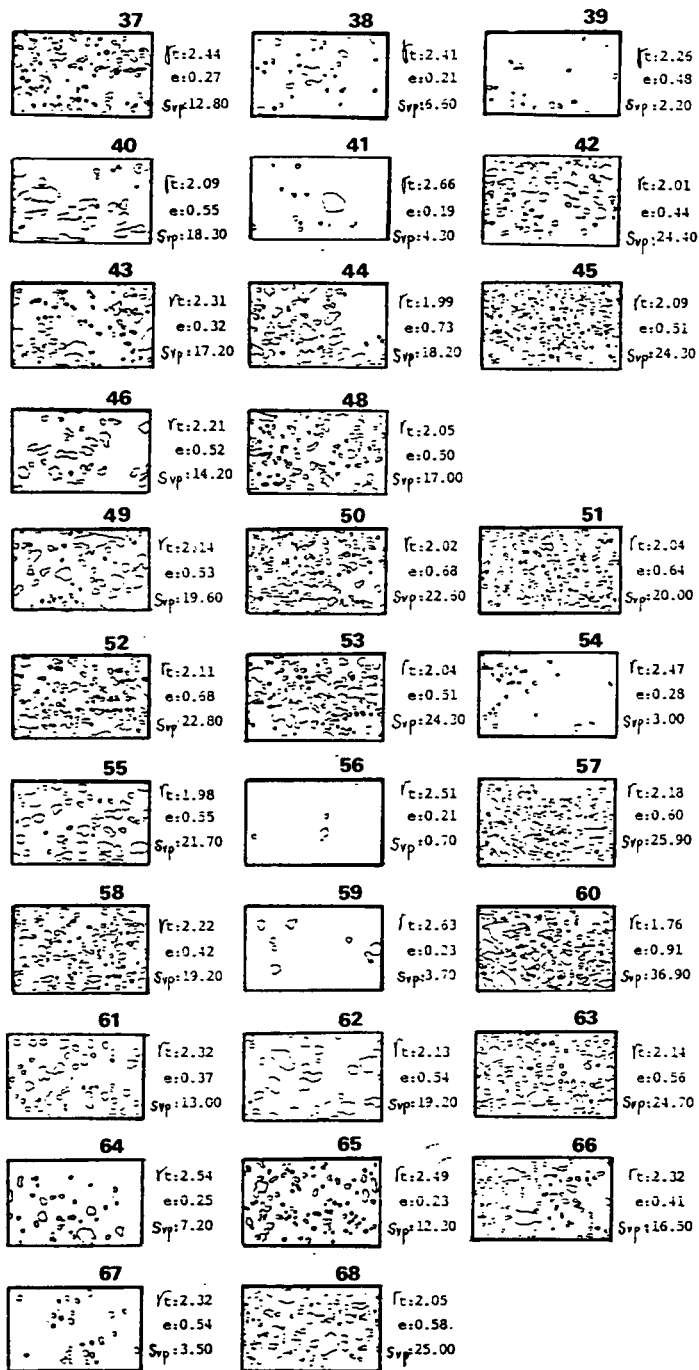


Fig.4. continued.

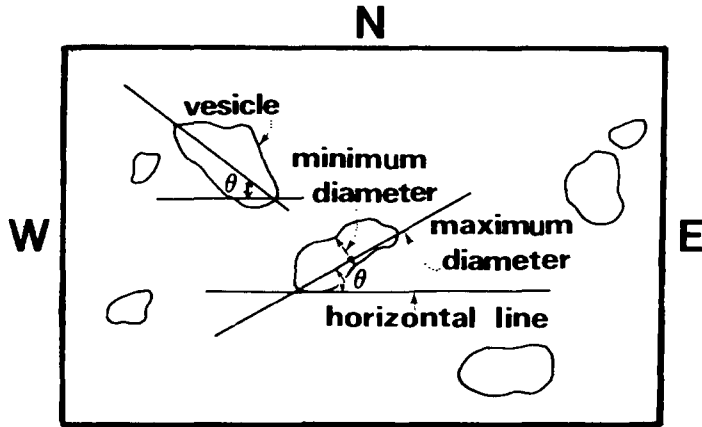


Fig.5. Measuring the maximum, the minimum diameters, and the angle of vesicle in planed sample.

測定된 氣孔破壞角의 集中 方向性은 Rose diagram으로 나타내었다(Fig.6). 이 測定方法을 利用하여 平面化된 表面氣孔으로 부터 氣孔모양(Vesicle shape), 氣孔크기(Vesicle size), 水平面과 氣孔의 長經이 이루는 角 즉, 氣孔破壞角(Vesicle failure angle)을 측정하였다(Table 3).

氣孔모양

氣孔모양(Vesicle shape)는 熔岩噴出時 熔岩의 流動速度과 方向 等과 같은 諸要因에 依해 支配될 것으로 생각된다. 모양에 對한 測定은 평면화 된 氣孔의 長經과 短經의 比에 依해 幾何平均으로 求하였다. 氣孔모양에 對한 力學的 性質은 軸比가 1인 球形에 가까운 형태보다 매우 伸長된 幾何學的 橢圓體를 이루고 있을때 弱한 強度特性을 갖게 된다. 氣孔모양은 0.39 - 0.72까지의 範圍를 나타내고 있어 대체로 伸長된 橢圓體를 보이고 있다.

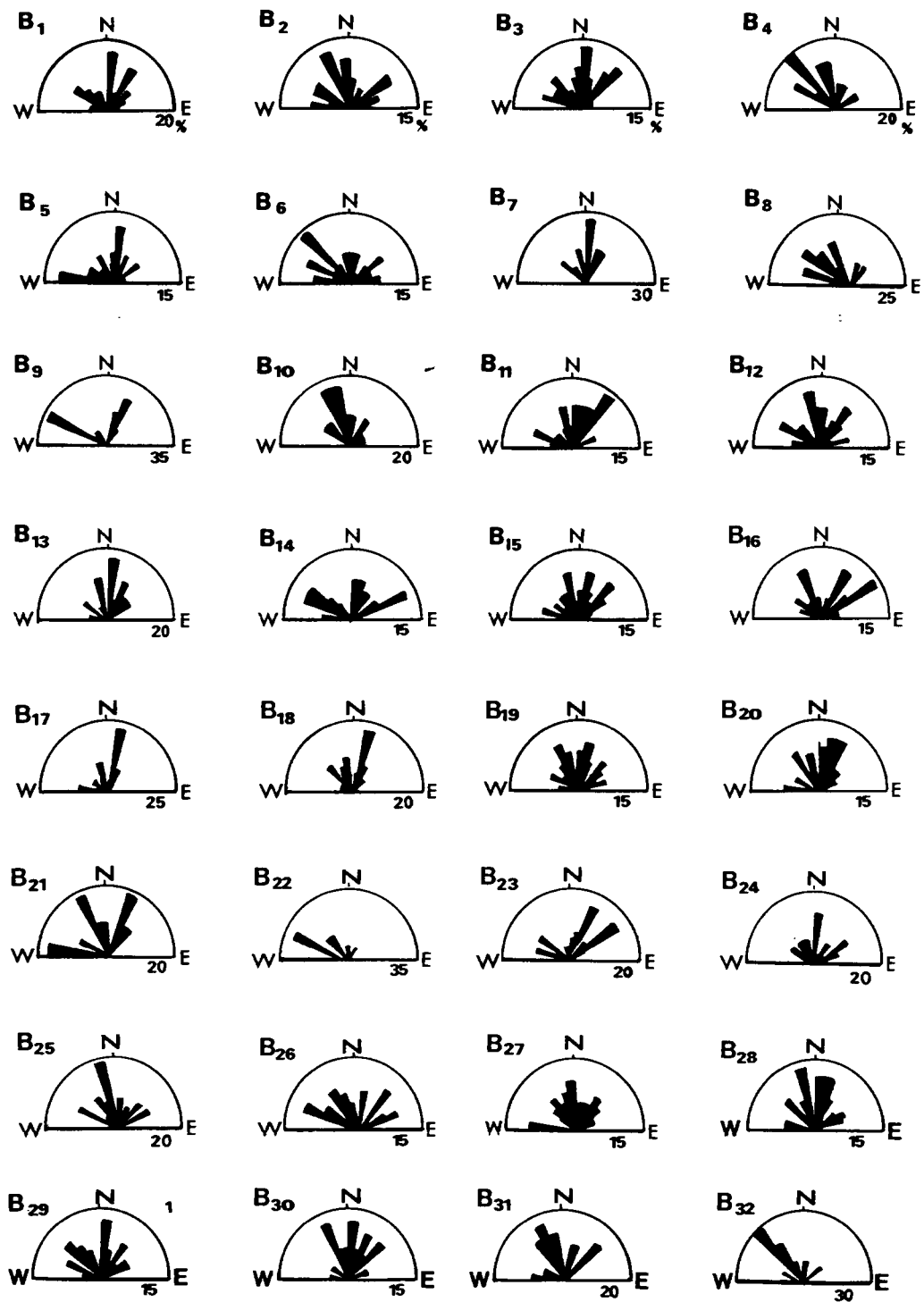


Fig.6. Rose diagram of vesicle failure angle of collected samples in the study area.

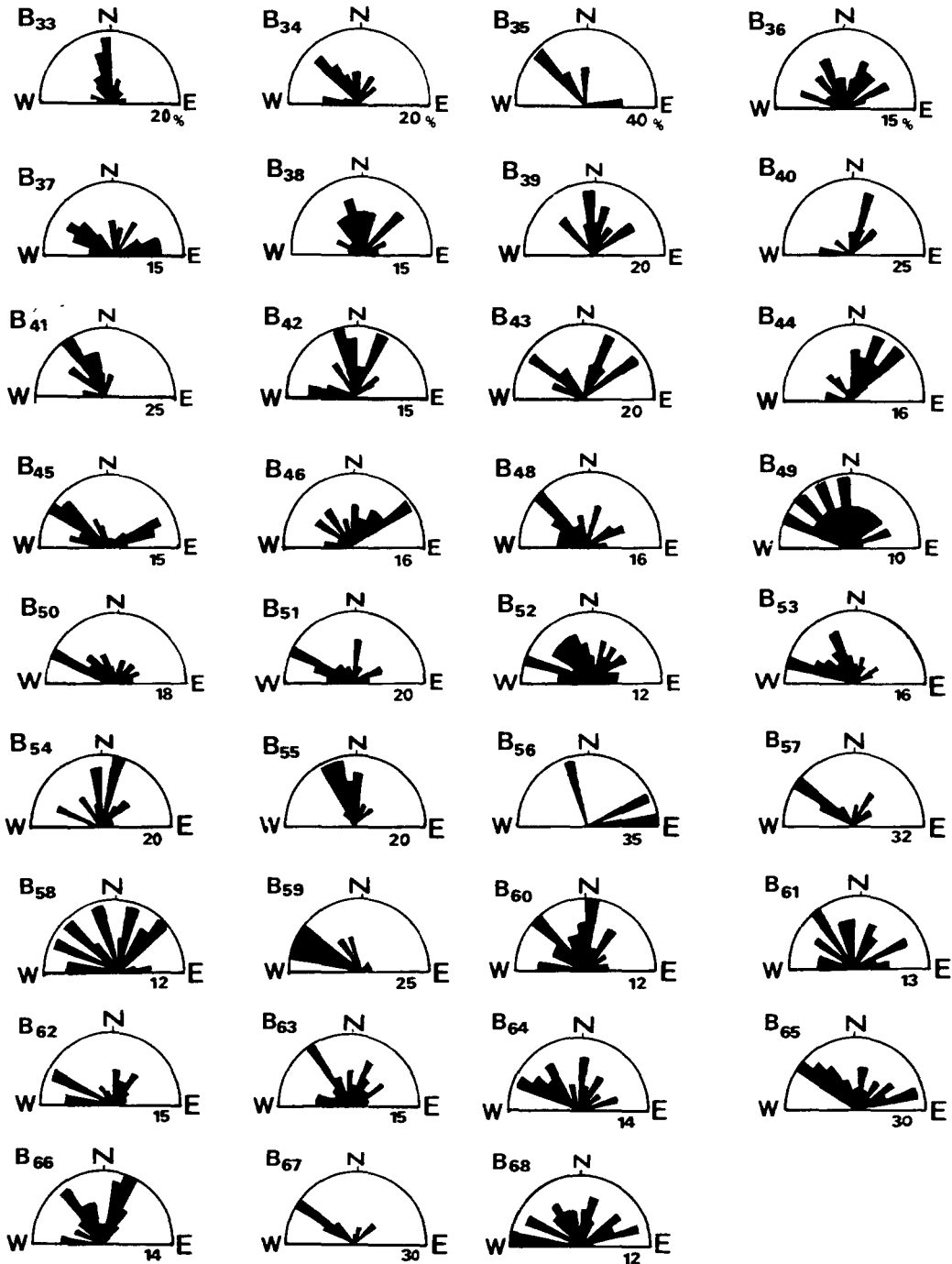


Fig.6. continued.

Table 3. Vesicle shape(Vg), vesicle size(Vs), surface vesicle - porosity(Svp) and vesicle failure angle(Vfa) of planed samples in the study area.

Sample No.	Vesicle shape	Vesicle size (m m)	Surface vesicle - porosity (%)	Vesicle failure angle(Vfa) (degree)
B 1	0.46	1.60	4.60	H 80
B 2	0.47	1.99	19.10	H 70
B 3	0.49	4.05	21.60	H 80
B 4	0.42	2.17	6.00	H 40
B 5	0.51	2.08	31.50	H 0
B 6	0.44	2.15	32.10	H 40
B 7	0.39	2.08	3.30	H 80
B 8	0.46	1.77	6.90	H 50
B 9	0.43	1.55	1.60	H 60
B 10	0.45	3.58	15.50	H 70
B 11	0.47	2.04	10.90	H 50
B 12	0.60	1.82	13.20	H 70
B 13	0.57	1.98	8.90	H 80
B 14	0.47	2.28	25.90	H 20
B 15	0.53	2.43	21.50	H 70
B 16	0.64	1.77	6.90	H 50
B 17	0.58	1.92	26.40	H 70
B 18	0.39	2.05	8.70	H 70
B 19	0.54	2.92	25.30	H 70
B 20	0.52	2.75	15.50	H 70
B 21	0.55	1.62	1.00	H 60
B 22	0.41	1.85	1.70	H 20
B 23	0.52	2.75	8.90	H 30
B 24	0.66	1.75	3.30	H 40
B 25	0.62	2.56	27.00	H 70
B 26	0.56	1.81	30.20	H 60
B 27	0.53	1.95	21.60	H 80
B 28	0.61	1.51	4.20	H 70
B 29	0.51	1.83	21.00	H 80
B 30	0.49	1.81	10.20	H 80
B 31	0.43	2.19	7.10	H 60
B 32	0.57	1.90	1.70	H 80
B 33	0.56	2.08	25.10	H 40
B 34	0.57	2.59	27.80	H 40
B 35	0.53	1.41	1.40	H 40
B 36	0.57	2.65	13.60	H 60
B 37	0.50	2.43	12.80	H 30
B 38	0.64	2.40	6.60	H 40
B 39	0.56	1.79	2.20	H 80
B 40	0.48	4.45	18.30	H 60
B 41	0.72	2.17	4.30	H 70
B 42	0.45	3.50	24.40	H 60
B 43	0.59	2.86	17.20	H 60
B 44	0.59	3.22	18.20	H 60
B 45	0.60	1.82	24.30	H 60
B 46	0.53	3.72	14.20	H 60
B 47	0.00	0.00	1.00	
B 48	0.52	2.16	17.00	H 60
B 49	0.57	2.62	19.60	H 80
B 50	0.52	2.05	22.60	H 20
B 51	0.48	2.19	20.00	H 20
B 52	0.51	2.20	22.80	H 10
B 53	0.53	2.20	24.30	H 10
B 54	0.61	1.63	3.00	H 70
B 55	0.61	3.64	21.70	H 70
B 56	0.45	2.33	0.70	H 20
B 57	0.58	4.82	25.90	H 30
B 58	0.55	2.73	19.20	H 70
B 59	0.62	4.06	3.70	H 30
B 60	0.54	2.99	36.90	H 80
B 61	0.62	2.89	13.00	H 50
B 62	0.62	6.07	19.20	H 30
B 63	0.53	3.13	24.70	H 60
B 64	0.57	2.02	7.20	H 60
B 65	0.55	2.11	12.30	H 30
B 66	0.51	2.04	16.50	H 60
B 67	0.58	2.35	3.50	H 30
B 68	0.54	2.85	25.00	H 0

氣孔크기

氣孔크기(Vesicle size)는 氣孔分布密度와 함께 火山岩體의 物性 및 強度特性에 있어 주요한 變數이다. 크기는 長經과 短經의 길이를 測定, 統計處理하여 幾何平均으로 계산하였다. 分布범위는 1.55 - 6.07mm 까지로 差가 심하다. 地域別로는 涯月地域이 $\bar{V}_s = 2.22 \text{ mm}$, 翰林地域이 $\bar{V}_s = 2.00 \text{ mm}$, 高山地域이 $\bar{V}_s = 3.94 \text{ mm}$ 로 高山地域이 最高置를 나타내고 있다.

氣孔破壞角

氣孔破壞角(Vesicle failure angle)은 熔岩體의 流動方向과 직접적인 關聯성을 갖고 있다. 따라서 氣孔破壞角에 對한 分析은 熔岩噴出時의 流動狀을 알수있고, 同一한 方向의 氣孔破壞角을 갖는 것은 岩體에 있어서 一種의 分離面으로서 작용할 것이다.

氣孔破壞角은 平面化된 試料로 부터 氣孔의 長經方向을 선정하고 이 長經方向이 水平面과 이루는 角으로 측정하였다. 이 결과를 分析해 보면 크게 3가지의 氣孔分布角을 가지고 있는데 H 70° (37%)以上 과 H 70° - 50° (39%) 그리고 H 50° (24%)以下로 나타난다.

대체적인 傾向을 보면 H 70° 以上の 高角度는 熔岩噴出地로 부터 먼거리 에 分布 하고 漸次 低角度化 됨에 따라 噴出中心地로 轉移하는 양상을 보인다(Fig.7). 또한 表面氣孔率(Svp)과 火山岩體의 物性과의 相關性 檢討 결과

$$n = 22 + 0.49 \text{ Svp} \text{ ----- } \textcircled{7}$$

로 기울기 0.49의 直線的인 關係를 가지고 있다.

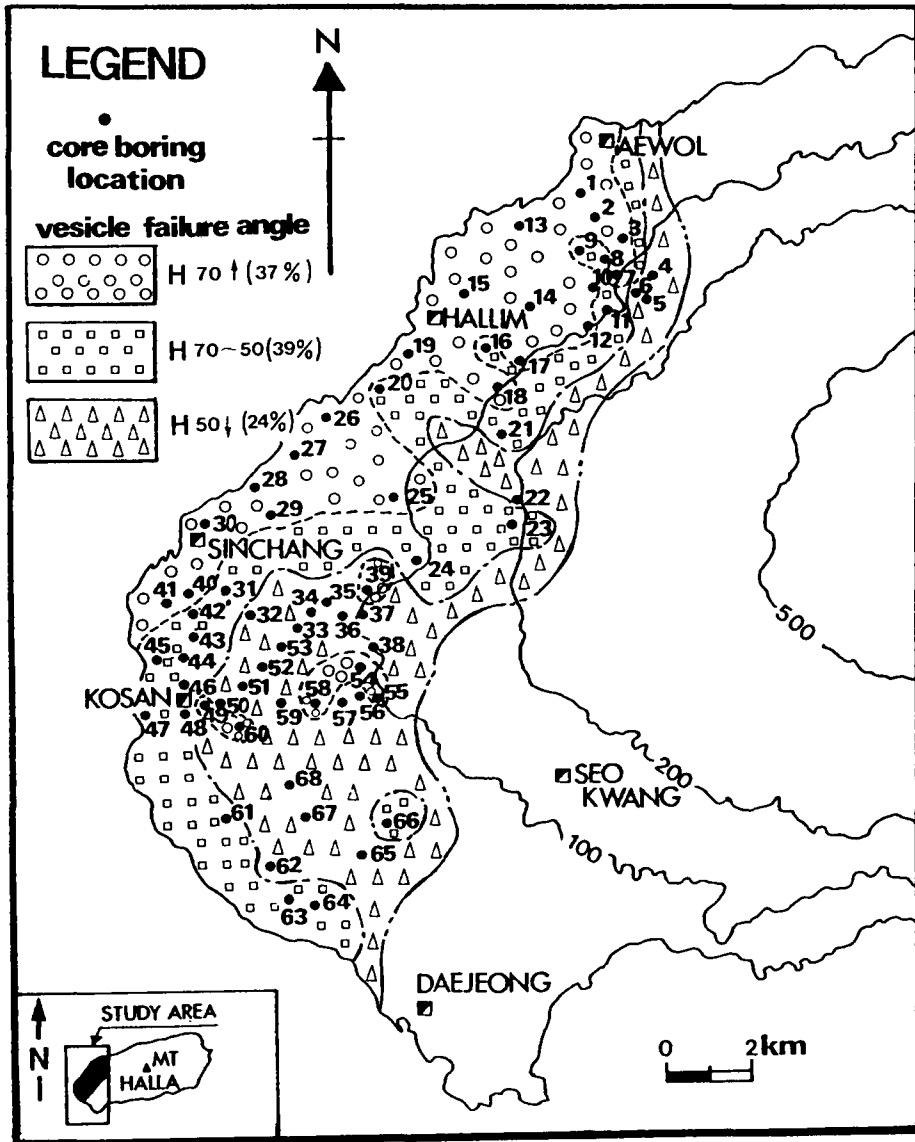


Fig.7. Distribution map of vesicle by vesicle failure angle (70 degree over, 70-50 degree, 50 degree under) in the study area.

위와같은 相關性으로 보아 本域 玄武岩體의 物性에는 表面氣孔率이 직접적 인 影響因子임을 알수 있다.

表面氣孔率의 岩種別 分布를 보면 表善里 玄武岩(FOB)이 $\overline{Svp} = 15.61\%$, 始興里 玄武岩이 $\overline{Svp} = 13.72\%$ 로, 表善里 玄武岩體가 全體 $\overline{Svp} = 15.49\%$ 보다도 높음을 알수 있다(Fig.8).

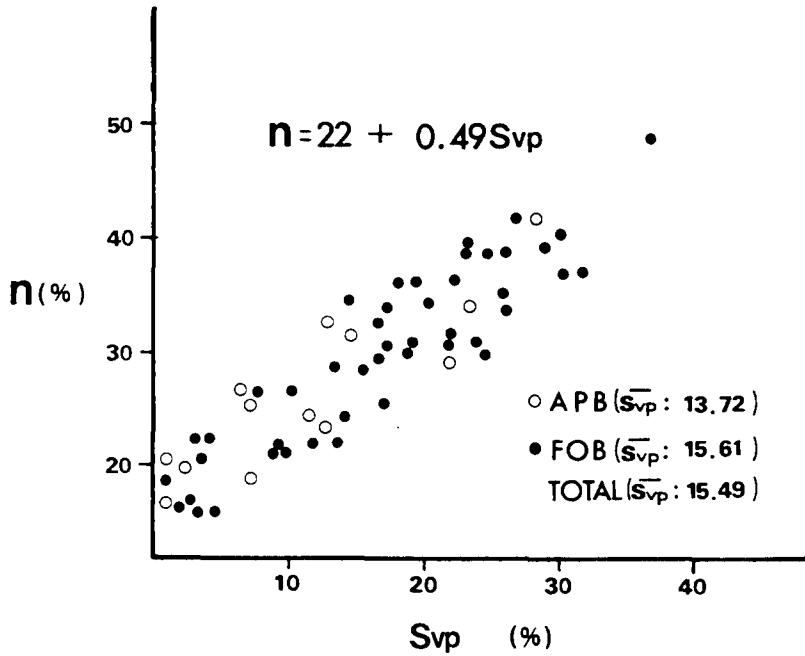


Fig.8. Relationship between surface vesicle-porosity (Svp) and porosity(n) of Pyeosunri basalt(FOB), Sihungri basalt(APB) by collected samples in the study area.

3. 壓縮強度

岩石의 強度는 岩石을 구성하고 있는 構成粒子的 形態, 粒度分布, 粒子的 種類 및 치밀성 등에 의해 支配를 받고 있다.

本域에 分布하는 玄武岩體에는 壓縮強度에 영향을 미치는 要因인 氣孔이 發達하고 있다. 이러한 氣孔의 존재는 岩體의 力學的 性質에 어떠한 형태로든 영향을 미치고 있다.

採取된 試料 68個에 對한 一軸壓縮強度 試驗 결과 試驗值의 範圍는 84 - 522 Kg/cm²로 큰 분산치를 나타내고 있다(Table 4).

이의 한 要因으로서 氣孔의 발달을 들수 있다. 즉 間隙比는 間隙量의 大小를 判別하는 基準으로서 여기에는 氣孔의 發達狀이 절대적인 影響因子로 작용하고 있다. 따라서 一軸壓縮強度(σ_c)와 間隙比와의 상관성 檢討결과

$$e = 2.56 - 0.91 \log \sigma_c \text{ ----- } \textcircled{8}$$

의 기울기를 가지고 反比例함을 보인다(Fig.9).

地域別 및 岩質別 範圍는 涯月地域이 124 - 522 Kg/cm², $\bar{\sigma}_c = 278$ Kg/cm²와 翰林地域이 169 - 424 Kg/cm², $\bar{\sigma}_c = 277$ Kg/cm² 그리고 高山地域이 135 - 527 Kg/cm², $\bar{\sigma}_c = 249$ Kg/cm²로서 涯月地域이 其他 地域보다 強度가 強함을 보이는데 이는 物性値와 氣孔發達狀과도 잘 일치함을 보이고 있다.

岩質別 分布에서도 表善里 玄武岩(FOB)이 124 - 527 Kg/cm², $\bar{\sigma}_c = 251$ Kg/cm², 城山層(SSF)은 84 Kg/cm², 始興里 玄武岩(APB)은 161 - 351 Kg/cm², $\bar{\sigma}_c = 259$ Kg/cm²이다. 위에서 未固結 火山碎屑性 堆積層인 城山層이 가장 낮은치인 84 Kg/cm²를 나타내고 있다. 地域別로는 涯月地域이, 岩質別로는 始興里 玄武岩이 높은 置를 보이고 있다.

Table 4. Measured values of uniaxial compressive strength(σ_c) of each samples in the study area.

Sample No.	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20
σ_c (Kg/cm ²)	522	212	215	301	124	347	333	240	314	213	283	204	314	215	241	351	214	331	326	233
Sample No.	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37	B38	B39	B40
σ_c (Kg/cm ²)	354	352	261	424	169	173	241	520	192	253	278	351	161	161	345	236	281	269	212	200
Sample No.	B41	B42	B43	B44	B45	B46	B47	B48	B49	B50	B51	B52	B53	B54	B55	B56	B57	B58	B59	B60
σ_c (Kg/cm ²)	373	202	347	169	241	188	84	233	200	194	259	188	223	327	171	338	169	261	357	146
Sample No.	B61	B62	B63	B64	B65	B66	B67	B68												
σ_c (Kg/cm ²)	241	176	174	378	445	135	173	166												

Miller(1966)에 의한 分類案에 의하면 本域의 火山碎屑層 및 玄武岩體는 軟岩(280 Kg/cm^2 以上)과 極軟岩(280 Kg/cm^2 미만)에 속한다.

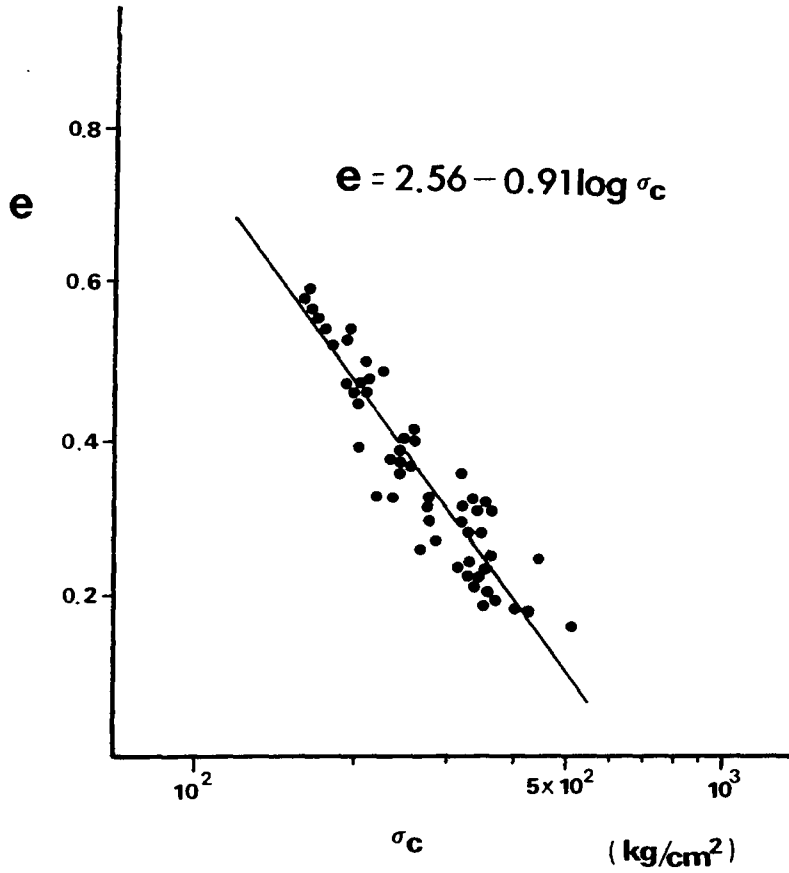


Fig.9. Relationship between uniaxial compressive strength (σ_c) and void ratio(e) by collected samples in the study area.

考 察

1. 強度特性

岩石에도 규모는 틀리나 岩盤과 같이 大小의 潛在하는 不連續面이나 構造가 존재하는데 이는 強度値의 分散을 가져오는 주요한 원인이 된다. 흔히 強度(strength)라고 함은 어떤 物質材料가 파괴될때 발휘되는 最大抵抗力을 強度라고 할수 있다.

本域 玄武岩體에는 이같은 強度特性을 지배할 수 있는 分離面 또는 不連續面의 一種으로서 氣孔이 발달하고 있다. 이 氣孔이 玄武岩體內에서의 強度特性을 결정짓는 要因으로 작용하기 때문에 이에 對한 定量的인 評價를 試圖하였다.

採取된 試料에 대한 一軸壓縮強度 試驗결과 本域 岩體의 壓縮強度値는 84 - 522 Kg/cm²까지의 多樣한 強度分散値를 나타내고 있는데 이의 한 要因으로 氣孔 發達狀을 提示할수 있다. 먼저 岩石의 一軸壓縮強度에 따라 代表 試料 5個를 선정하면 B₁(522 Kg/cm²), B₆₅(445 Kg/cm²), B₆₄(378 Kg/cm²), B₃₁(278 Kg/cm²), B₅(124 Kg/cm²) 等이다.

위에서도 언급하였던 바와 같이 強度치의 큰 分散要因은 岩體의 치밀성 評價에 基準이 되는 間隙比와 氣孔의 發達狀을 들수 있는데, 두 變數가 強度特性을 지배하는 決定的인 지시자로 思料된다. 다섯개 試料에 對한 氣孔의 發達狀과 氣孔破壞角을 測定 하였다. 氣孔의 長經이 水平面과 이루는 角 즉, 氣孔破壞角을 측정하여 본 결과 대체로 多樣한 氣孔破壞角(Vesicle failure angle)의 集中方向性을 나타내고있다. 이같이 氣孔破壞角이 集中方向性을 나타내는 것은 氣孔이 流動傾向을 가지는 것이고 또한 岩體內에서 垂

直 및 水平應力을 받을 경우를 생각하였을 때 最小強度를 갖는 一種의 弱面 (破壞面)으로 作用할 것이다. 따라서 本 論文에서는 一軸壓縮強度와 氣孔 破壞角을 이용한 多孔質 火山岩體의 強度特性을 提示하고자 한다.

Bray(1967)는 最大主應力(σ_1)方向과 ψ 만큼 기울어진 氣孔破壞角을 생각 할때

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2 \psi \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2 \psi \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

$$|\tau_p| = \sigma \times \tan \Phi \quad \text{-----} \quad \text{③}$$

①과②式을 ③式에 代入하면, 이때 岩體에 破壞가 일어날 強度比(K)는

$$K = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad \text{로써 이를 사용 하면} \quad \text{-----} \quad \text{④}$$

$$(1-K)\sin 2\psi = (1+K)\tan\Phi - (1-K)\cos 2\psi \tan\Phi \quad \text{-----} \quad \text{⑤}$$

이는 다시 ④式에서

$$\sigma_h = \sigma_c \times K \quad K = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} = \tan^2\left(45 - \frac{\Phi}{2}\right) \quad \text{-----} \quad \text{⑥}$$

$$\sigma_h = q_u \times \tan^2\left(45 - \frac{\Phi}{2}\right), \quad \theta = 45 + \frac{\Phi}{2}, \quad \psi = 45 - \frac{\Phi}{2}$$

本 岩體에서는 破壞角은 氣孔分布角 즉, 氣孔破壞角으로 設定 할수 있다.

Griffith理論에 의하면 一般的인 岩體는 強度比 1/3로 增加하나 本 火山 岩體는 間隙比와 氣孔破壞角의 영향이 크다고 생각되어서 Bray가 提示한 強度比(K)에 間隙比(e)와 氣孔破壞角分布率(V_o)을 곱한 有效 強度比 (K_e)를 提案 한다. 즉

$$K_e = K \times V_o \times e \text{ ----- } \textcircled{7}$$

$$* K = \frac{\tan \psi}{\tan(\psi + \Phi)} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

e : 間隙比 V_o: 表面氣孔角의 分布率 K_e: 有效強度比

氣孔破壞角이 本 玄武岩體의 力學的 性質에 미치는 영향성 評價를 위해 선 정된 5개 試料에서 各 氣孔破壞角의 集中方向性을 나타내었다(table 5).

Table 5. The orientation-distribution of vesicle failure angle in each samples in the study area.

Sample No.	B 1	B 65	B 64	B 31	B 5
Vesicle angle ori.	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0 - 10E	16.66	8	11.42	3.33	12.20
0 - 20E	2.77	4	5.71	6.66	2.40
0 - 30E	5.55	2	2.85	0.00	6.12
0 - 40E	13.88	6	8.57	0.00	8.16
0 - 50E	2.77	2	0.00	13.33	2.04
0 - 60E	8.33	8	5.71	3.33	6.12
0 - 70E	5.55	6	0.00	0.00	8.16
0 - 80E	2.77	12	8.57	0.00	2.04
0 - 90E	0.00	0	2.85	0.00	2.04
0 - 10W	0.00	4	0.00	3.33	6.12
0 - 20W	0.00	2	5.71	13.33	4.08
0 - 30W	5.55	6	2.85	16.66	2.04
0 - 40W	5.55	10	11.42	13.33	6.12
0 - 50W	8.33	12	8.57	0.00	4.08
0 - 60W	11.11	14	11.42	0.00	4.08
0 - 70W	0.00	2	14.28	10.00	6.12
0 - 80W	5.55	0	0.00	6.66	6.12
0 - 90W	5.55	2	0.00	10.00	12.24

B₁에서는 0 - 10E 方向에서 最大 氣孔破壞角 集中値 16.66% 을 0 - 20E, 0 - 50E, 0 - 80E에서 最小 集中度 2.77% 를 보이고 있다. B₆₅에서는 0 - 60W 에서 8%의 最大 集中値를 0 - 30E 등에서 最小 集中値 2 %를 나타낸다. B₆₄에서는 최대 0 - 70W 方向에서 14.28 %, 最小 0 - 30W,E에서 2.85%, B₃₁은 最大 0 - 30W 方向에서 16.66%, 最小 0 - 60E 方向에서 3.33%를 B₅에서는 0 - 90W에서 최대 12.24%의 集中度를, 最小 集中度 2.04(0 - 80, 90 E)을 보이고 있다.

이같은 多様な 氣孔破壞角의 集中分布 方向性이 본 암체의 破壞 및 強度 特性에 지배요인으로 작용된다. 選定된 試料 B₁, B₆₅, B₆₄, B₃₁, B₅에 대하여 앞의 이론에 의하여 산정한 有效強度比(K_e)의 算定表는 Table 6 이다.

보통 一般的인 岩石의 破壞試驗時 破壞角에 따라서 하나의 ψ 와 Φ 를 가져 強度比는 하나로 設定된다. 그런데 Fig.6의 Rose diagram처럼 본 岩體에서는 氣孔分布角이 多様하여 氣孔破壞角 즉, 破壞角의 變化에 따라 試料 하나에 對하여 多様な 強度比의 變化를 가져온다. 한 試料에 對한 多様な 強度比의 變化를 나타낸 것이 Table 6 이다. 氣孔破壞角의 集中方向性이 變化됨에 의해 剪斷強度角(ϕ)의 變化에 따라 다양한 強度값이 存在하게 된다. 여기서 縱축을 Φ , 橫축을 強度比(K_e)로 놓고 檢시하면, B₁ 試料에서는 Φ 角의 變化에 따라서 多様な 強度 異方性 즉 6個의 強度分布曲線을 가진다. 이같이 한 試料에 對하여 다양한 強度 異方性을 가지는데 여기서 ψ 값이 적을수록 強度가 크며 強度比는 적어진다. 따라서 最小의 強度比를 가지고 ψ 角이 最小인 強度 分布曲線을 擇해 代表 強度 分布曲線이라 設定하여 有效強度比(K_e)라 定 할 수 있다. 따라서 B₁에서는 有效強度比 K_e = 0.30 이 된다(Fig.10).

Table 6. Effective strength ratio(K_e) of strength anisotropy
in the study area.

$$(K_e = K \times V_o \times e)$$

ϕ ψ	70	60	50	40	30	20	10	remarks
10	0.08	0.17	0.31	0.42	0.59	0.88	1.36	B 1 $e = 0.17$ $\sigma_c = 522 \text{ Kg/cm}^2$
20	0	0.03	0.06	0.10	0.15	0.20	0.30	
30		0	0.09	0.20	0.31	0.45	0.65	
40			0	0.35	0.73	1.13	1.65	
50				0	0.10	0.20	0.32	
60					0	0.44	0.89	
70						0	0.45	
NW								
10	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	
30		0	0.09	0.20	0.31	0.45	0.65	
40			0	0.14	0.29	0.45	0.66	
50				0	0.30	0.61	0.98	
60					0	0.59	1.19	
70						0	0	
10	0.06	0.11	0.20	0.28	0.39	0.57	0.88	B 65 $e = 0.23$ $\sigma_c = 445 \text{ Kg/cm}^2$
20	0	0.06	0.12	0.19	0.29	0.40	0.58	
30		0	0.05	0.10	0.15	0.22	0.32	
40			0	0.21	0.43	0.66	0.97	
50				0	0.10	0.18	0.32	
60					0	0.57	1.16	
70						0	0.66	
NW								
10	0.03	0.05	0.10	0.14	0.19	0.29	0.44	
20	0	0.03	0.06	0.10	0.14	0.20	0.39	
30		0	0.14	0.29	0.46	0.66	0.95	
40			0	0.35	0.71	1.10	1.61	
50				0	0.58	1.19	1.90	
60					0	1.00	2.03	
70						0	0.32	
10	0.09	0.17	0.31	0.43	0.60	0.89	1.37	B 64 $e = 0.25$ $\sigma_c = 378 \text{ Kg/cm}^2$
20	0	0.09	0.19	0.30	0.44	0.61	0.90	
30		0	0.07	0.15	0.23	0.34	0.49	
40			0	0.32	0.66	1.03	1.50	
50				0	0	0	0	
60					0	0.44	0.90	
70						0	0	
NW								
10	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0.09	0.19	0.30	0.44	0.61	0.90	
30		0	0.07	0.15	0.23	0.34	0.49	
40			0	0.43	0.89	1.37	2.00	
50				0	0.45	0.92	1.48	
60					0	0.89	1.80	
70						0	0	

Table 6. continued.

Φ ψ	70	60	50	40	30	20	10	remarks
10	0.03	0.06	0.12	0.17	0.24	0.35	0.54	B 31 e = 0.34 $\sqrt{c} = 278 \text{ Kg/cm}^2$
20	0	0.14	0.29	0.48	0.70	0.97	1.42	
30		0	0	0	0	0	0	
40			0	0	0	0	0	
50				0	0.95	1.95	3.13	
60					0	0.35	0.71	
70						0	0	
NW								
10	0.03	0.06	0.12	0.17	0.24	0.35	0.54	
20	0	0.27	0.59	0.95	1.40	1.95	2.85	
30		0	0.57	1.19	1.87	2.72	3.90	
40			0	0.68	1.40	2.18	3.17	
50				0	0	0	0	
60					0	0	0	
70						0	1.63	
10	0.21	0.41	0.75	1.03	1.44	2.12	3.29	B 5 e = 0.56 $\sqrt{c} = 124 \text{ Kg/cm}^2$
20	0	0.07	0.15	0.24	0.35	0.49	0.72	
30		0	0.34	0.72	1.13	1.65	2.37	
40			0	0.69	1.42	2.19	3.20	
50				0	0.30	0.49	0.79	
60					0	1.06	2.16	
70						0	2.19	
NW								
10	0.10	0.21	0.38	0.51	0.72	1.06	1.65	
20	0	0.14	0.30	0.48	0.71	0.98	1.44	
30		0	0.11	0.24	0.38	0.55	0.79	
40			0	0.51	1.06	1.65	2.40	
50				0	0.48	0.98	1.57	
60					0	0.71	1.44	
70						0	1.65	

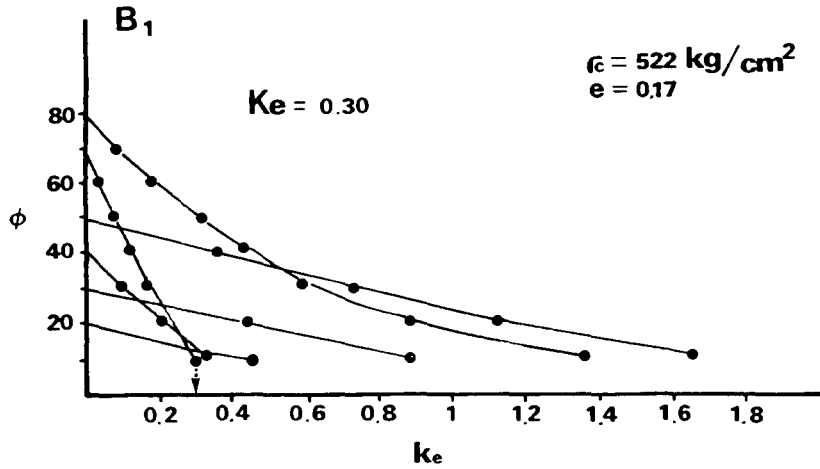


Fig.10. Graphic showing strength anisotropy and effective strength ratio(K_e) of B 1.

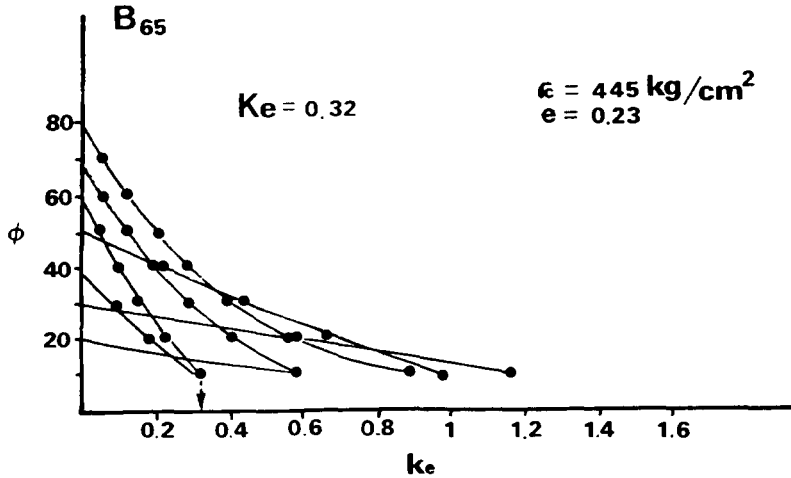


Fig.11. Graphic showing strength anisotropy and effective strength ratio(K_e) of B 65.

B₆₅에서는 7個의 多樣한 強度 分布曲線을 가지며, 이때 有效 強度比는 $K_e = 0.32$ 이다(Fig.11). B₆₄에서는 5個의 多樣한 強度 分布曲線을 가지고 有效 強度比는 $K_e = 0.49$ (Fig.12), B₃₁은 4個의 強度 分布曲線을 가지며 有效 強度比는 $K_e = 0.54$ (Fig.13), B₅는 7個의 強度 分布曲線을 가지고 $K_e = 0.72$ 이다(Fig.14).

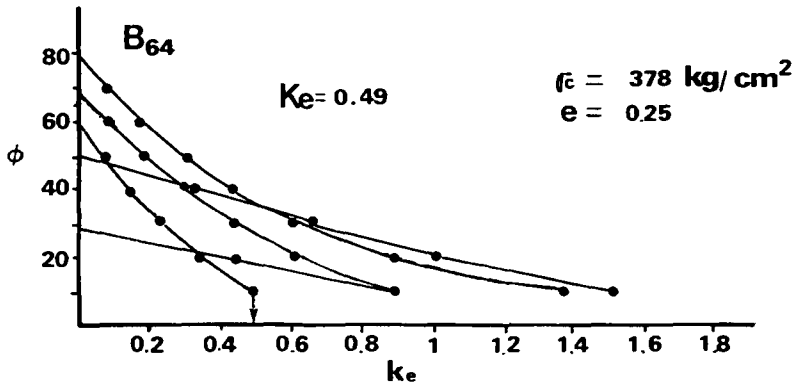


Fig.12. Graphic showing strength anisotropy and effective strength ratio(K_e) of B 64.

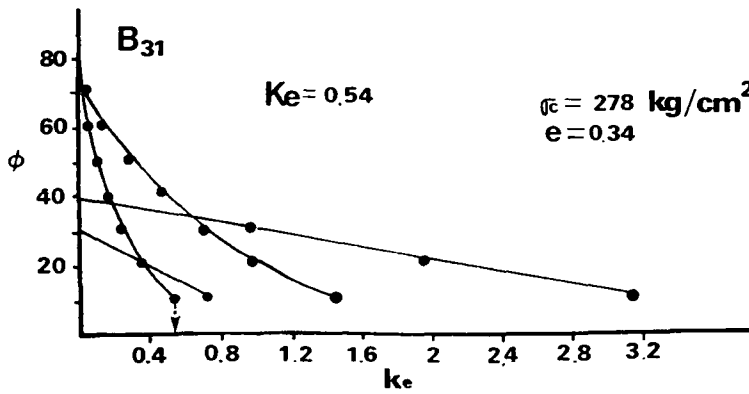


Fig.13. Graphic showing strength anisotropy and effective strength ratio(K_e) of B 31.

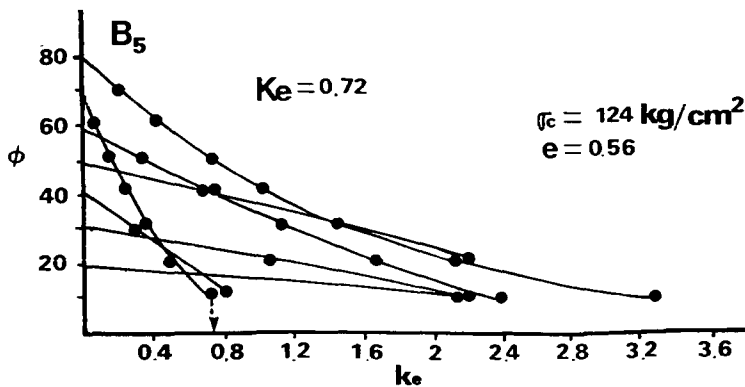


Fig.14. Graphic showing strength anisotropy and effective strength ratio(K_e) of B 5.

一軸壓縮強度(σ_c)와 有效 強度比(K_e)와의 關係에서는 一軸壓縮強度가 減少 함에 따라서 有效 強度比는 增加 하는 反比例 關係를 보이고 있다(Fig.15).

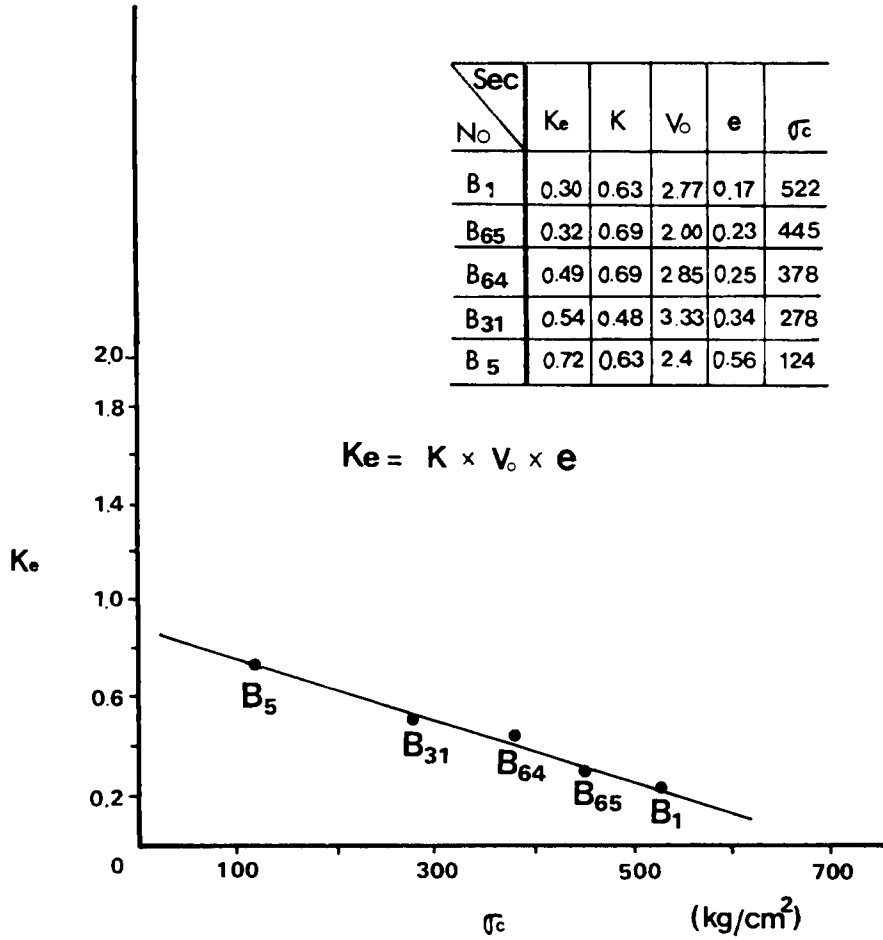


Fig.15. Relationship between uniaxial compressive strength (σ_c) and effective strength ratio(K_e) of each samples in the study area.

2. 應力性

岩石의 力學的 性質을 지배하는 要素는 多様하다. 上記 氣孔破壞角의 集中方向性 分布 變化에 따라 有效 強度比(Ke)가 決定 되었다. Ke 값의 결정으로 앞의 ④식에서

$$Ke = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{\sigma_h}{\sigma_c} \quad \sigma_h = Ke \times \sigma_c \quad \text{의 關係에서}$$

$$B_1 : \sigma_h = 157 \text{ Kg/cm}^2 \quad B_{65} : \sigma_h = 142 \text{ Kg/cm}^2$$

$$B_{64} : \sigma_h = 185 \text{ Kg/cm}^2 \quad B_{31} : \sigma_h = 150 \text{ Kg/cm}^2$$

$$B_5 : \sigma_h = 89 \text{ Kg/cm}^2 \text{ 로}$$

水平壓縮強度(引張強度)를 導出할수 있다. 導出된 壓縮強度 및 引張強度를 이용하여 本域 玄武岩體의 力學的 및 岩體 破壞特性 究明을 위해 剪斷強度角을 產出하고자 한다. 壓縮強度 試驗에 있어서 剪斷強度角의 產出方法은 여러가지가 있다. 대체로 Mohr circle 을 作圖하여 剪斷強度角(ϕ)와 破壞角(θ)를 算定하여왔지만, 여기서는 應力狀態를 하나의 應力點으로 나타낼수 있는 p - q diagram을 利用하였다.

$$p = \frac{\sigma_c + \sigma_h}{2}, \quad q = \frac{\sigma_c - \sigma_h}{2} \text{ 로서}$$

여기서 q는 最大剪斷強度로 Mohr圓의 半徑을, p는 Mohr圓의 중심이 된다. 즉, 應力 狀態는 應力點의 座標인 하나의 點으로 表示되고 이 點과 원점이 이루는 線이 破壞線(failure line)이 된다. 이 破壞線과 水平面이 이루는 角이 剪斷破壞角(α)이 된다. Mohr circle의 剪斷強度角(ϕ)과 p - q diagram의 剪斷強度角(α)의 關係에는 $\sin\phi = \tan\alpha$ 의 關係로서 $\alpha = \tan^{-1}(\sin\phi)$ 또는 $\phi = \sin^{-1}(\tan\alpha)$ 의 關係이다.

따라서 상기에서 구한 壓縮強度와 水平壓縮強度(引張強度)를 p - q diagram에 점시 하여 본 결과

B₁ 은 $\alpha = 27^\circ$ B₆₅은 $\alpha = 25^\circ$ B₆₄은 $\alpha = 19^\circ$
 B₃₁은 $\alpha = 17^\circ$ B₅ 은 $\alpha = 10^\circ$ 을 나타내고 있다.

위의 結果를 보면 B₁이 다른 地域보다도 剪斷強度角이 훨씬 크며, 強度가 強함을 나타낸다(Fig.16).

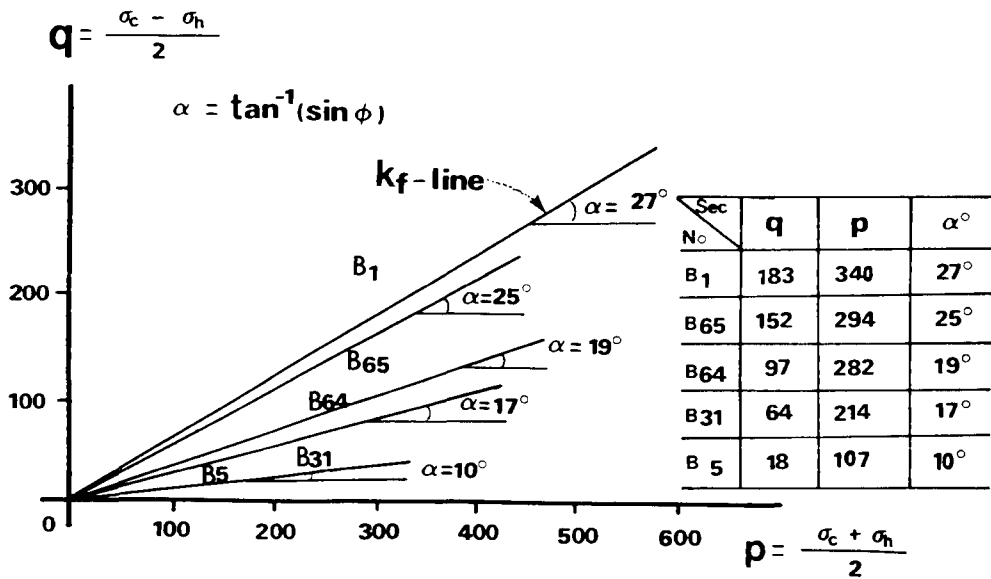


Fig.16. p - q diagram of each samples in the study area.

p - q diagram의 結果를 가지고 다시 Mohr circle을 作圖, 破壞包絡線을 구해 剪斷強度角(ϕ)와 破壞角(θ) 및 應力性を 檢討 하였다(Fig.17, 18, 19, 20, 21). 그 결과 B₁ 은 $\phi=30^\circ$, B₆₅는 $\phi=28^\circ$, B₆₄는 $\phi=20^\circ$, B₃₁은 $\phi=18^\circ$, B₅는 $\phi=10^\circ$ 를 나타내어 p - q diagram과 잘 일치됨을 보인다.

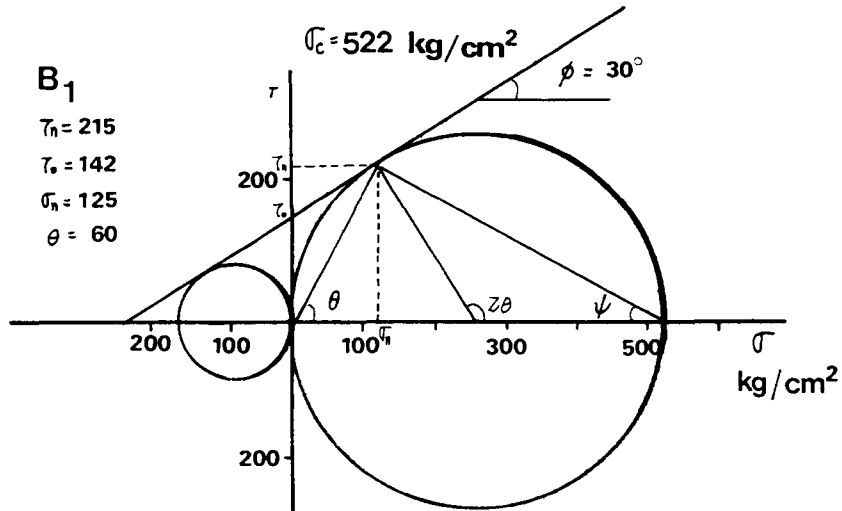


Fig.17. Mohr circle of B 1.

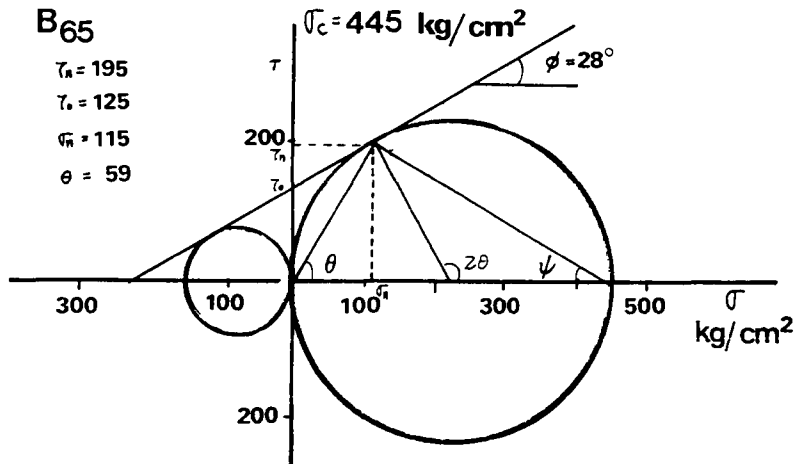


Fig.18. Mohr circle of B 65.

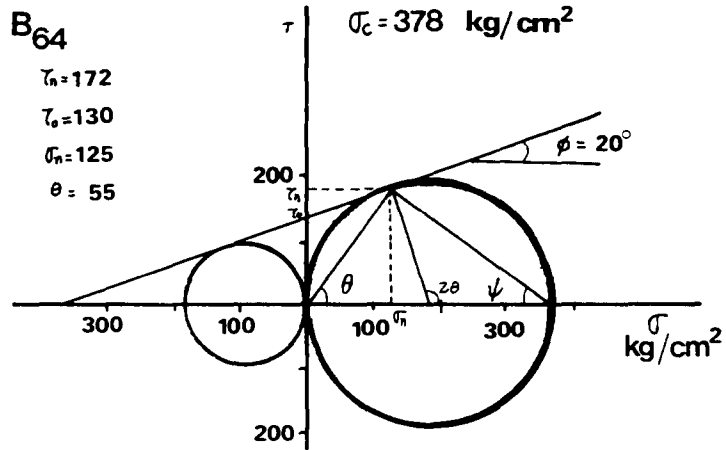


Fig.19. Mohr circle of B 64.

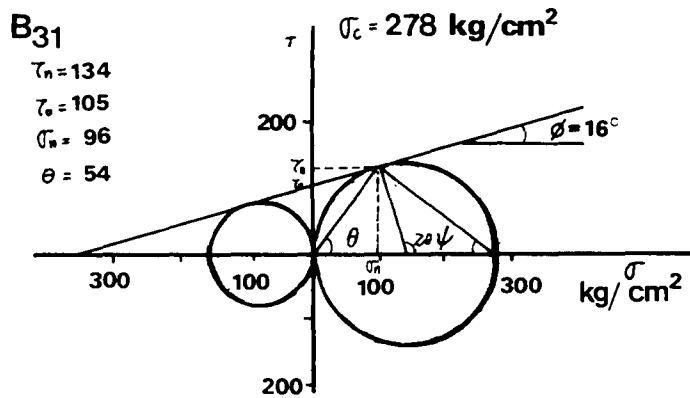


Fig.20. Mohr circle of B 31.

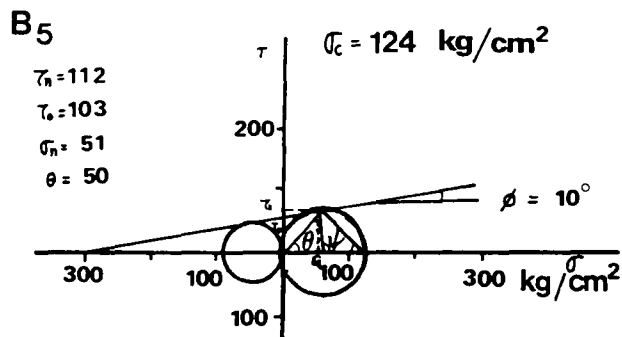


Fig.21. Mohr circle of B 5.

3. 破壞性

岩體의 破壞特性은 그 岩體內에 存在하고 있는 微細한 crack에 의해 지배를 받는다. 즉, Griffith는 岩石에 荷重이 가해지면 이들 crack중 가장 위험한 方向으로 향하고 있는 가장 큰 crack의 先端부 또는 그 附近에 作用되는 應力 集中現象으로 생긴 最大應力에 依하여 龜裂이 發生하고, 應力이 增加 하면 차차 crack이 확대됨으로서 岩石에 破壞가 일어난다고 했다. 어떤 岩體에 破壞가 일어 나기위한 條件으로 最大主應力(σ_c)와 最小主應力(σ_h)과의 사이에 存在하는 關係는

$$N\Phi = \frac{1 - \sin\Phi}{1 + \sin\Phi} = \frac{\sigma_c}{\sigma_h} = \tan^2\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) \quad \text{-----} \quad \textcircled{8}$$

이다. 이는 破壞比가 된다. 따라서 本 火山岩體의 破壞比는

$$B_1 \text{ 은 } N\phi = 3.3 \quad B_{65} \text{ 은 } N\phi = 3.1 \quad B_{64} \text{ 은 } N\phi = 2$$

$$B_{31} \text{ 은 } N\phi = 1.8 \quad B_5 \text{ 은 } N\phi = 1.4 \text{ 이다.}$$

Griffith 破壞理論에 依한 岩體의 極限破壞 限界置 0.33을 基準으로 할때 B_1, B_{65} 試料는 限界置 위에, B_{64}, B_{31}, B_5 試料는 限界置 아래에 檢시되어 B_1, B_{65} 試料가 破壞強度가 強함을 알수 있다. 또한 大邱 - 함양 사이에 分布하고있는 花崗岩, 砂岩, 셰일 등이 本域의 火山岩體 보다도 破壞強度가 強함을 보이고 있다(Fig.22).

摩擽係數도

$$B_1 \text{ 은 } \mu = 0.58 \quad B_{65} \text{ 은 } \mu = 0.53 \quad B_{64} \text{ 은 } \mu = 0.36$$

$$B_{31} \text{ 은 } \mu = 0.32 \quad B_5 \text{ 은 } \mu = 0.18$$

로서 B_1 地域이 가장 크다.

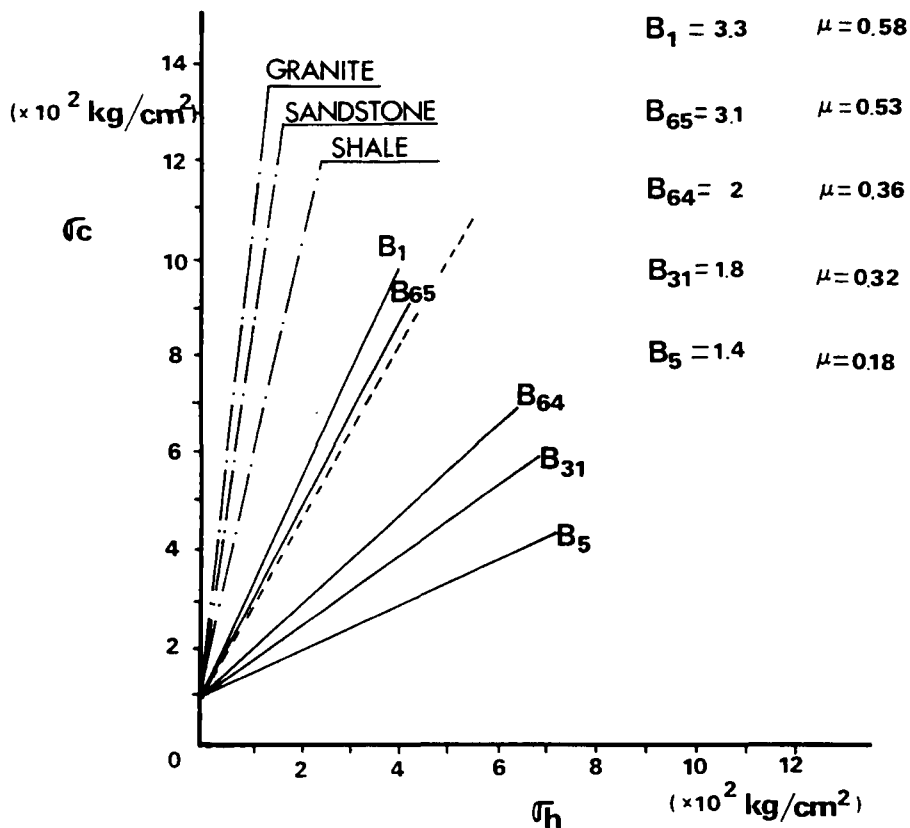


Fig.22. Relationship between horizontal strength(σ_h) and uniaxial compressive strength(σ_c) of each samples in the study area.

Griffith 破壞理論에 依하면 岩體의 強度比가 0.33 즉, 1/3일때 岩體에 crack이 發生 하여 破壞가 일어 난다고 한다. 따라서 B_1 , B_{65} 을 제외 하고는 岩體의 極限 破壞限界置인 $K_e = 0.33$, $N\phi = 3$ 以下로서 破壞可能한 樣狀을 보이고 있다. 破壞 限界極限值는 強度比 $K_e = 0.33$, 破壞比 $N\phi = 3$ 으로, $N\phi = 3$ 以下가 되면 破壞可能한 樣狀을 갖는 岩體가 된다.

역시 大邱 - 함양 사이에 分布 하는 花崗岩, 砂岩, 셰일등을 檢査 하여 보 면, 本域의 火山岩體 보다도 破壞強度가 強함을 보이고 있다(Fig.23). 以 上과 같은 結果에서 本域 火山岩體의 有效 強度比(K_e)와 一軸壓縮強度(σ_c) 사이의 關係에서는 - 0.98의 기울기를 갖는 反比例 關係를 보인다.

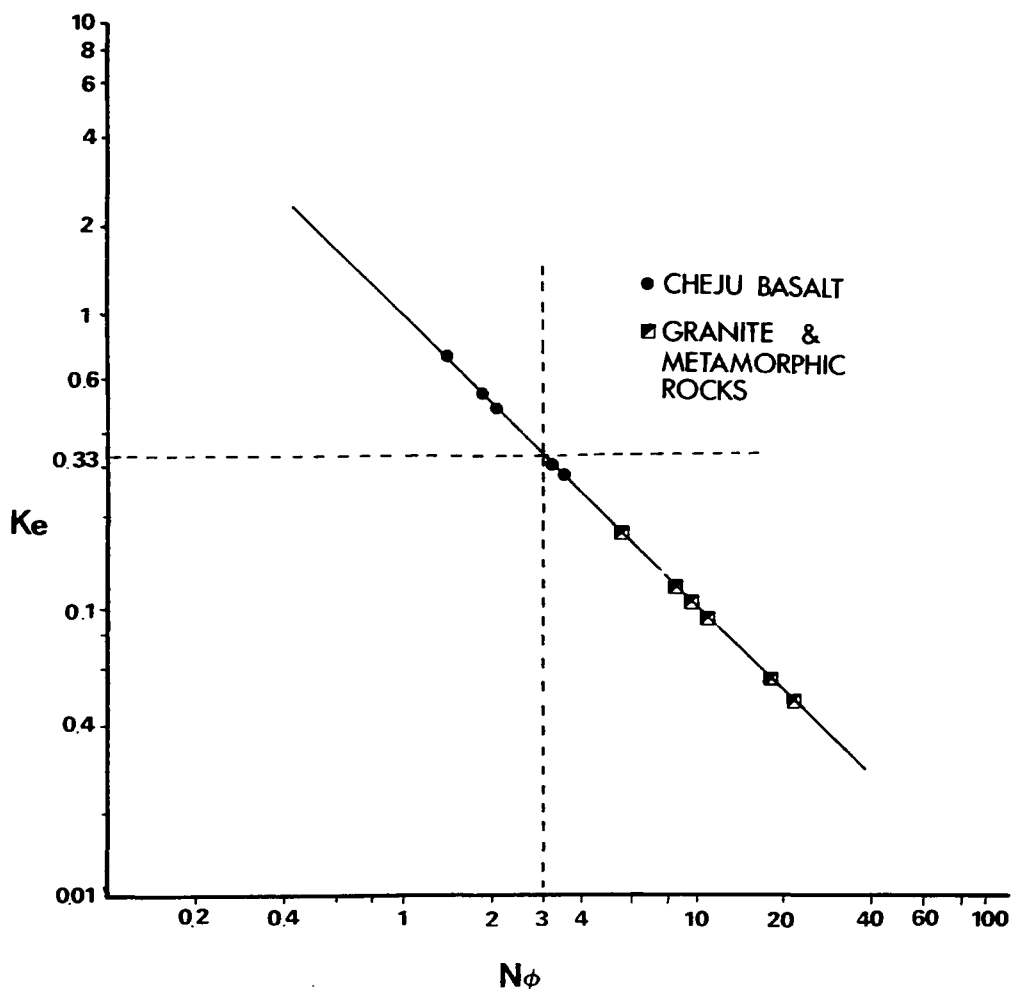


Fig.23. Relationship between failure ratio($N\phi$) and effective strength ratio(K_e) of each samples in the study area.

이 기울기와 岩體의 極限 破壞限界 基準置인 0.33과 이루는 限界點을 設定 할때 B₁, B₆₅을 제외한 나머지 試料들은 대부분 地質工學的으로 不安定한 岩體로 思料된다(Fig.24).

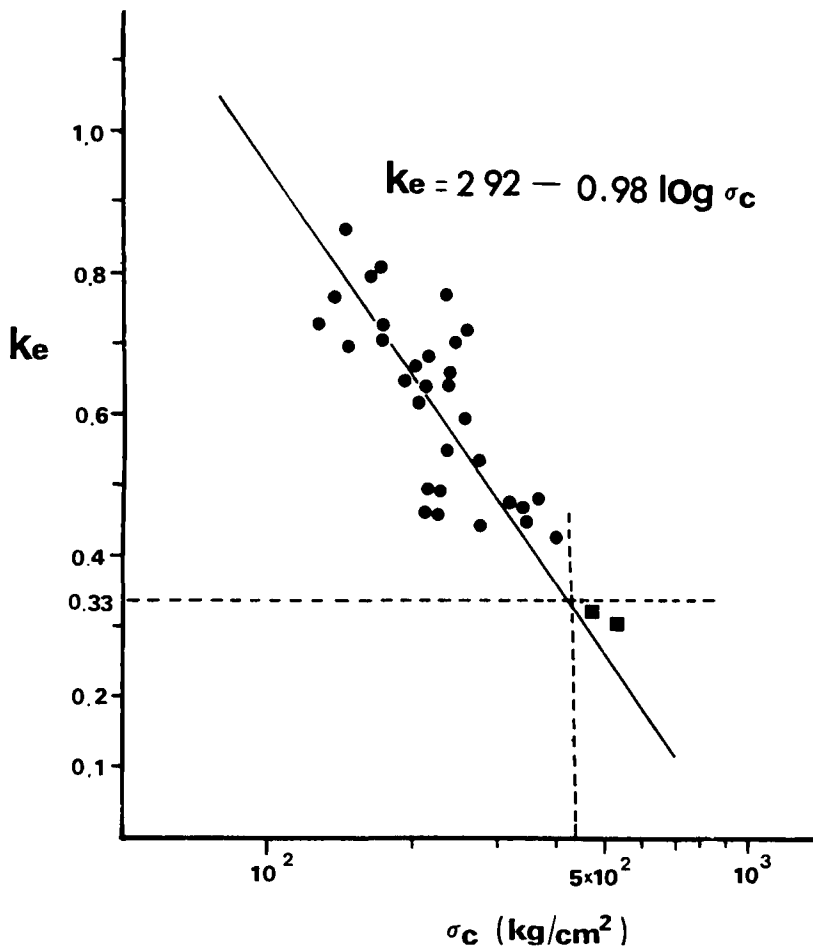


Fig.24. Relationship between uniaxial compressive strength(σ_c) and effective strength ratio (K_e) of each samples in the study area.

結 言

研究地域인 濟州島 北西部는 第 四 紀 Pleistocene - Holocene에 溢流한 熔岩體인 玄武岩이 主 構成岩體로 되고, 이들 암체는 柱狀節理와 多量의 氣孔을 갖고 또 5回 - 15回의 熔岩溢流가 있었다. 이 熔岩과 熔岩사이에는 熔岩空洞(lava tube)이 보통 2-3m에 이르고, 용암공동에는 火山碎屑物 및 粘土層이 扶才하고 있다. 또 碎屑物이 地下水에 의해 流出되면 柱狀節理가 發達된 이 용암체는 崩壞, 陷沒 및 沈下를 일으킨다.

특히 이들 熔岩체는 氣孔에 의해 岩體의 力學的 性質(岩石의 強度, 應力, 破壞性等)이 支配를 받고 있다.

氣孔크기는 1.55 - 6.07mm 까지의 範圍를 나타내고 있으며, 氣孔의 모양은 球形의 形態보다 伸長된 橢圓體일때 弱한 強度特性을 갖는다. 따라서 本域에서는 軸比가 0.39 - 0.72로서 伸長된 橢圓體를 나타내고 있어 弱한 強度를 暗示 한다. 氣孔破壞角은 熔岩의 流動방향과 직접적인 관련성이 있고, 本 火山岩體內的 氣孔은 70° (37%)以上과 70-50° (39%) 그리고 50° (24%)以下로 區分 된다. 대체적인 傾向을 보면 分布地로 멀어질수록 70° 以上의 高角度를 이루고 있고, 이 氣孔은 漸次 低 角度化 됨에 따라 噴出中心地로 轉移 하는 양상을 나타낸다. 이같은 氣孔의 分布相은 熔岩의 流動速度에 起因 될 것이다.

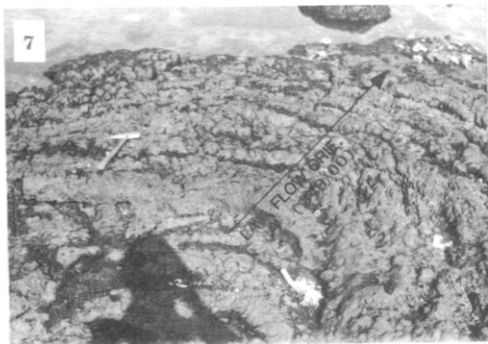
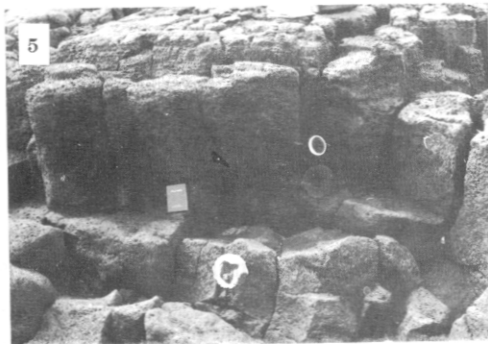
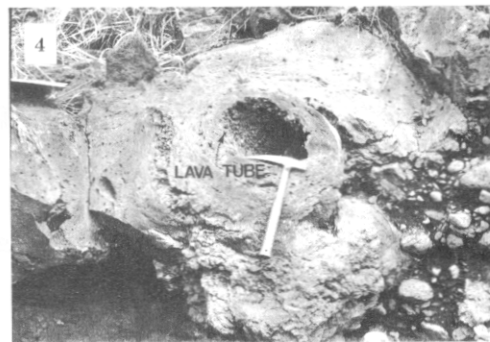
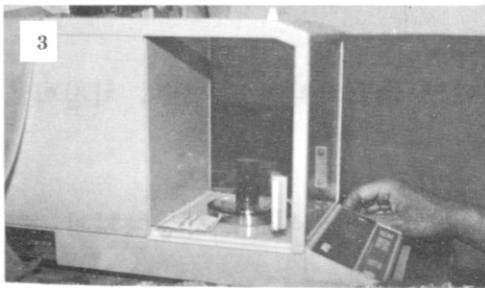
氣孔은 氣孔의 크기, 모양, 方向性等에 의해 그 力學性을 달리 함으로 本 研究에서는 火山岩體의 破壞 및 強度를 支配하는 氣孔分布角 즉, 破壞角의 要素(parameter)를 설정 하여 試料當 各 氣孔破壞角에 의한 強度 異方性에서 各 岩石代表試料의 有效強度比(K_e)는 $B_1=0.30$, $B_{65}=0.32$, $B_{64}=0.49$, B_{31}

=0.54, $B_5=0.72$ 이다. 여기서 試料 B_5 가 가장 큰 內部應力을, 試料 B_1 이 가장 낮은 內部應力을 나타내어 低位地帶 보다 高位地帶 일수록 強度가 낮은 傾向을 보이고 있다.

이 有效 強度比(K_e)는 $q(=\frac{\sigma_c - \sigma_h}{2})$, $p(=\frac{\sigma_c + \sigma_h}{2})$ 關係의 破壞線에서 剪斷 強度角을 導出 하면 剪斷強度角(ϕ)은 $B_1=30^\circ$, $B_{65}=28^\circ$, $B_{64}=20^\circ$, $B_{31}=16^\circ$, $B_5=10^\circ$ 로서 本 火山岩體는 대체로 낮은 剪斷強度角을 나타내고 있다. 따라서 岩體의 極限破壞限界置인 0.33을 基準으로 할때 거의 대부분이 $K_e=0.33$ 以上이 되어 本 岩體는 地質工學的 不安定領域에 속 하는 岩體이고, 軟岩體에 該當된다.

寫眞 說明

- 사진 1. 現場에서 試料採取 장면(北濟州郡 涯月邑 錦城川附近).
- 사진 2. 試料採取後의 장면(scale 10원 짜리 동전).
- 사진 3. 採取된 試料에 對한 物性測定 장면.
- 사진 4. 始興里 玄武岩體(APB)內에 발달하고 있는 lava tube.
- 사진 5. 翰林邑 扶才里 海岸가에 발달하고 있는 表善里 玄武岩體(FOB)內의 柱狀節理(columnar joint)로서 대체로 구갑상형을 보이고 있다.
- 사진 6. 高山地域 海岸가를 따라서 分布 하고 있는 火山碎屑性 堆積層(城山層)으로서 堆積當時의 層里構造를 잘 보여 주고 있고 火山彈等에 의한 boulder sag 構造를 볼수있다.
- 사진 7. 熔岩의 流動構造로서 翰林邑 해안가에 발달 하고 있다.
(flow bedding 340/00)
- 사진 8. 大規模의 陷沒帶로서 涯月邑 무수천내에 발달 하고 있다.



參 考 文 獻

1. 김영기, 김상욱, 이운종, 1982, 우리나라에 分布하는 주요岩石류의 역학적 특성연구. 경북대 논문집 제34권, p269 -283.
2. 김영기, 지질공학, 1986, 대학교재출판사, 서울 p98 - 120
3. 석종기, 1989, 유라기 및 백악기 화강암체의 분리성. 경북대학교 이학 박사학위 논문, p 84 - 93.
4. 김영기, 1987, 하부경상층군에 발달하는 분리면의 특성 연구. 지질학회지, 제 23 권 p 120 - 135.
5. 원종관, 1976, 제주도 화산암류에 대한 岩石화학적인 연구, 지질학회지 제 12 권 제 4 호, p 207 - 226.
6. 김동학외 4인, 1986, 제주도에서의 응회환과 응회구, 지질학회지, 제22 권, p 1 - 9.
7. 김동학외 3인, 1989, 제주도 서부지역의 화산층서와 분출사, KR-88-(B)-4 한국동력자원연구소.
8. Farmer, Ian, Engineering behaviour of rock, 2nd, ed., Chapman and Hall Ltd., London(1983). pp. 81 -118.
9. I.W.Farmer, Engineering properties of rocks, Spon Ltd., pp.55- 69.
10. Richard E. Goodman, 1989, Introduction to rock mechanics, 2nd., pp. 55 - 99.
11. CARULLI, G.B, 1980, Geotectonics and its implication on engineering geology, rock mechanics, pp.30 - 50.
12. R.D. Lama, 1974, Handbook on mechanical properties of rocks, vol.

- 1, pp.13 - 172.
13. M.R.H.Ramez,1969, The flow pattern and jointing mechanism of ABU ZAA BAL doleritic basalt, int.J.rock mech.min. sci. vol.7, pp.23-24.
 14. Georet,Faust,1978,Joint systems in the watchang basalt flows, new jersey. pp. 21 - 55.
 15. T.William Lambe,1979, Soil mechanics,SI version wiley, pp. 162 - 194.
 16. Atilla. Aydin, 1987, Surface morphology of columnar joints and its significance to mechanics and direction of joint growth,Geological society of America., vol.99, pp. 605 - 617.
 17. D.F.Howarth,1987, Quantative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties rock mech. vol.20, pp. 57 -85
 18. David D.pollard,1988, A method to characterize fracture density and connectivity through fractal geometry, rock min. sci & geomech. abstract, vol.25, No.6, pp. 421 - 429.
 19. Zhou simeng,1986, Post-failure behaviour of rocks under uniaxial compression, pp. 253 - 260.
 20. W.Gonna, 1974, Geotechnical properties of the Limestone exposed along the Nile valley,Egypt. Rock mechanics. pp. 247 - 253.
 21. C.G.sannis,1986, The failure of brittle porous solids under compressive stress states Acta metall, vol.34,No.3,pp.511-526.

22. A.Mur and G. Simmons. 1970, The origin small cracks in igneous rocks. int.J.Rock mech.sci., vol. 7, pp. 307 - 314.
23. Kawamoto,1970, Macroscopic shear failure of jointed and layered brittle media process: 2nd Congr. ISRM., vol. 2, Beograd.
24. Kawamoto,1990,Discontinuities and their effect on rock mass. To be appeared in the process of int.conf. on rock joints Loen, Norway, June.
25. W.S.Derhowitz, 1988, Characterizing rock joint geometry with joint system models rock mechanics and rock engineering, vol. 21., pp. 21 - 51.

Rock Mechanical Properties of Aewol - Kosan Area
Northwestern Part in Cheju Island, KOREA*

Ok Gon CHOI

Department of Geology
Graduate School, Kyungpook National University
Taegu, Korea

(Supervised by Professor Young Ki KIM)

(Abstract)

This study is to clarify mechanical properties of volcanic rocks of the northwestern part in cheju-volcanic island.

Rocks which are composed of vesicular basaltic rocks, pyroclastic sediments, cinder cone and sand dune in Pleistocene - Holocene are distributed in this area. The volcanic rocks(mainly basalt) have a lot of the vesicles and the discontinuities such as columnar joints which were developed by cooling and shrinkage of flowing lava

The physical properties of volcanic rocks are as follows;
unit weight(ρ_t): 1.76 to 2.79 g/cm³, void ratio(e): 0.17 to 1.05,
water content(w): 2.79 to 19.57%. The differences of physical properties measured are likely to be affected by vesicles and pyroclastic sediments in volcanic rocks.

* A thesis submitted to the Committee of the Graduate School of Kyungpook National University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in December 1990.

The characteristic geometry of vesicles can be divided into vesicle shape(V_g), vesicle size(V_s), vesicle failure angle(V_{fa}) and surface vesicle-porosity(S_{vp}). These give rise to the following data; vesicle shape: 0.39 to 0.72, vesicle size: 1.41 to 6.07 mm, vesicle failure angle: 0 degree to 80 degree, surface vesicle-porosity: 0.7 to 36.9%.

The data show that vesicles with larger size and higher angle tend to be distributed along the seaside.

In the case of Sungsan Fm, uniaxial compressive strength of pyroclastic sediments is 84 kg/cm^2 , whereas the value of basalt is 522 kg/cm^2 , showing that the strength increases with decreasing void ratio(e) and vesicle density.

The strength characteristic and mechanical anisotropy of volcanic rocks are influenced by both void ratio(e) and feature of developed vesicles. Accordingly, five representative samples selected by uniaxial compressive strength(σ_c) may clarify mechanical properties of this volcanic rocks.

Taking into account of various vesicle failure angle(V_{fa}), effective strength ratio(K_e) can be calculated by sample with stress anisotropy; B1:0.30, B65:0.32, B64:0.49, B31:0.54, B5:0.72. Also, internal friction angle of rocks, shear strength angle(ϕ) show in a low numerical values of 30° to 10° .

Based on Griffith failure theory, the other samples except B1 B65 belong to the critical failure limit with $K_e \geq 0.33$, indicating that these are relatively unstable rock bodies in view of engineering geology.