

濟州島 北西部 地域 火山岩體의 地質工學 特性

Engineering Geological Characteristics of volcanic rocks of the Northwestern Cheju Island, Korea

金永琪(Kim, Young Ki)*
崔鉦坤(Choi, Ok Gon)*

*慶北大學校 地質學科

요 약

濟州島 北西部 地域의 地質은 第四紀 플라이스토세에서 홀로세에 形成된 玄武岩類의 熔岩體와, 海岸邊을 따라 分布하는 火山碎屑性 堆의層인 城山層, 그리고 寄生火山(cinder cone)이 30 餘個나 分布하고 있다. 이 玄武岩類(表善里 및 始興里 玄武岩 等)들은 柱狀節理가 심히 發達하고, 多量의 氣孔을 形成하고 있다. 이 熔岩들 사이에는 熔岩空洞(lava cave)이 발달하고 있으며, 熔岩空洞에는 火山碎屑物 및 粘土層이 層재되어 있다. 挾在物들이 地下水에 의해 流去되면, 柱狀節理가 발달된 이 熔岩體는 崩壞, 陷沒, 및 沈下를 일으킨다. 특히 이들 熔岩體의 氣孔狀(크기, 모양, 方向性)은 岩體의 工學的 性質(岩石의 強度 等)을 左右하게 된다. 이 氣孔狀은 本 玄武岩體의 破壞強度支配要素가 되어, 이 岩體에 對한 有效強度比(K_e , $K_e=0.30-0.72$)를 導出 하였다. 여기서 K_e 값이 적을수록 낮은 内部應力을 意味한다. 本域에서는 低位地帶보다 高位地帶일수록 岩體強度가 낮은 傾向을 보인다. 또한 破壞強度角(Φ)은 $\Phi=30^\circ-10^\circ$ 의 範圍로서, 本 火山岩體는 대체로 낮은 破壞強度角을 나타내고 있다. 따라서 本 岩體의 破壞 極限限界值인 0.33을 基準으로 할 때, 거의 大部分이 $K_e>0.33$ 이 되어 地質工學的 不安定領域에 속하는 岩體라 할 수 있다.

Abstract : The geology of the northwestern Cheju Island consist of Pleistocene to Holocene volcanic rocks which could be devided into basalt layers, the Sungsan Formation composed mainly of volcanoclastic debris exposed along the shoreline, and more than 30 cinder cones. Columnar joints and vesicles are dominant in the basalts of the Pyeosunri and the Sihungri basalt Formations. Volcanoclast and clay layers are intercalated in basaltic layers. When volcanoclast of the interlayers would be swept away by ground water and some caves of channel shape would be formaed. Overlying lavas cracked by columnar joints could be easily destroyed, collapsed and/or sunk. Geomechananical nature of the rocks such as strength may be controlled by the vesicularity(size, shape, and orientation of the vesicles) of the rocks. On the basis of vesicularity as a factor of strength, the effective strengh ratio(K_e) could be calculated as $K_e=0.3-0.72$, in which the smaller K_e value reflects the lower in internal stress. In the studied area, the strength of the rocks tends to decrease as increasing in altitude of provenance of the rocks. The rocks in the area show relatively low values in angle of failure strength(Φ) ranging from 10° to 30° . In conclnsion, the rocks in question, majority of which the critical value exceeds 0.33, belong to the unstable rocks in the aspect of engineering geology.

濟州島에 對한 一般 地質學(地史 및 岩石學, 地化學 等)의 研究는 많은 研究者(金玉準 1965, 李商萬 1966, 尹統 1970, 元鐘寬 1975, 李文遠 1982 等)들에 依해 폭넓게 研究되어 왔지만 地質工學的 側面에서의 研究는 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)을 形成하고, 冷却收縮作用에 依해 柱狀節理(columnar joints)가 發達하고 있다. 이같이 岩盤에 存在하는 氣孔(vesicles)이나, 柱狀節理 等은 不連續性이 되고, 이러한 岩盤의 不連續性은 應力의 分布와 傳達에 異方性을 나타내게 되어 岩體의 強度特性을 左右하게 된다. 또한 岩體의 分離性은 大型構造物의 建設時에 發生되는 地盤崩壞 및 漏水問題 等を 惹起시켜 岩盤 不安定性을 초래케 하는 主要한 原因이 되고 있다. 그러므로 岩盤內 不連續性은 岩盤의 工學的 性質을 評價하는 데 있어서 主要한 變數가 된다.

佐武(1973)는 多孔質 火山岩과 같은 岩體에서는 氣孔을 하나의 分離面, 또는 破壞面으로 간주하고, 이같은 破壞面을 따라서 應力의 集中現象이 일어나 岩體는 破壞된다고 하였다. 本 研究는 氣孔狀(氣孔의 모양, 크기, 方向性等)에 對한 分析으로 多孔質 火山岩體의 工學的 性質을 究明하는 데 있다. 따라서 本 研究에서는 岩體內에 存在하는 氣孔을 分離面 즉, 破壞面으로 하여, 이때의 角을 破壞角으로 設定하고, 이 角의 發達에 따라 應力 異力性을 갖는 本 岩體의 工學的 性質을 究明하고자 한다.

本 研究 대상지역은 濟州島 北西部 涯月-高山地域 一帶로서 行政區域上 濟州島 北濟州郡 涯月邑(錦城里, 鳳城里, 納邑里), 翰林邑(甕浦里, 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度20分에서 33度27分, 東經 126度17分에서 126度10分の 範圍에 該當되는 地域이다.

本域에 分布하는 岩石은 주로 第四紀 플라이스토세의 玄武岩과 火山碎屑性 堆積層, 그리고 홀로세의 噴石丘(cinder cone) 및 砂丘(sand dune)로 構成되어 있다(Fig. 1). 濟州島 西部地域에는 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 플라이스토세의 漢拏山 粗面岩質 安山岩(FB-II)과 홀로세의 噴石丘(CD)가, 最上位에는 홀로세의 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度の 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하는데, 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 表善理 玄武岩(FOB)은 5~16 回의 熔岩流가 일류하였음이 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 挾在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 낮다. 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 班狀 輝石玄武岩이고, 회색 내지 암회색으로 비교적 치밀하다. 또 非顯晶質 및 多孔質로서 氣孔은 길쭉한 막대모양을 나타내고 方向性을 보여주어 熔岩流의 流動方向을 示唆해 주고 있다. 表善里 玄武岩(FOB)은 始興里 玄武岩(APB)보다 氣孔이 많이 發達하고 있다.

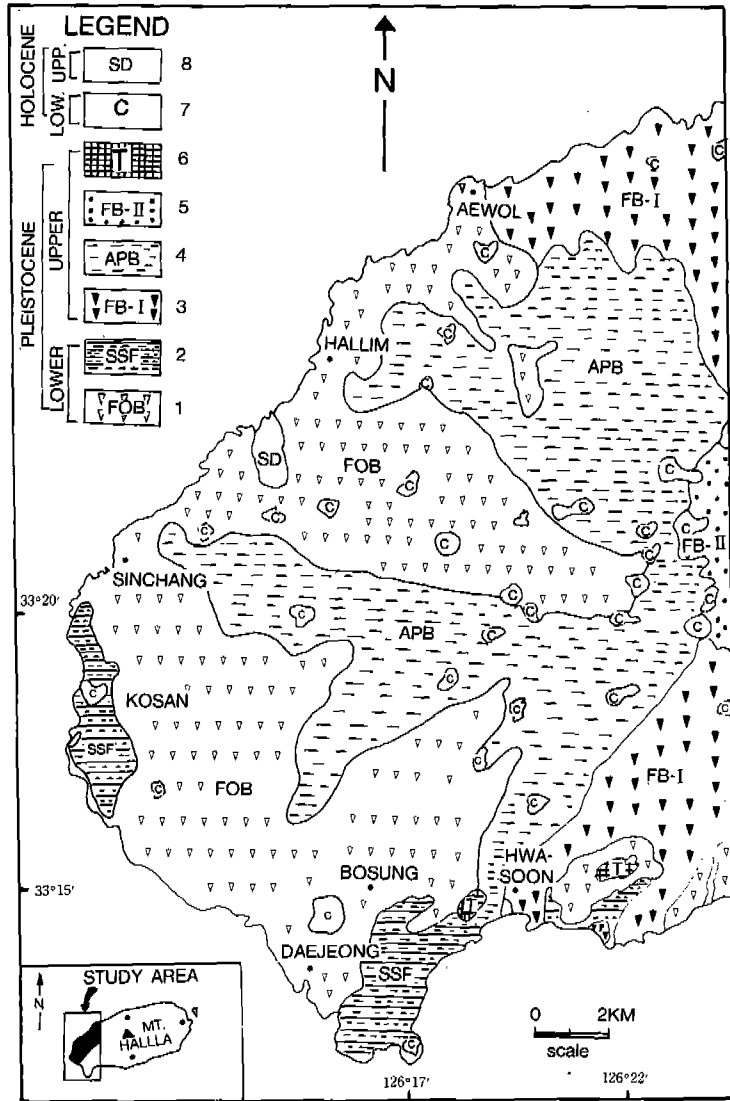


Fig 1. Geological map in the vicinity of the Aewol-Kosan area and western part in Cheju island(after Won. J. K, 1975) ;

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

噴石丘는 本地域에 於道오름(143m), 발이 오름(759m) 等約 30 餘個로 東西長軸 方向을 따라서 分布한다. 이는 主로 자색 내지 담황색의 분석구로서 火山砂, 火山灰 및 火山彈 等으로 이루어져 있다. 砂丘(sand dune)는 挾才里 및 郭支里 해안가에 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(114

m), 빌레못굴(11,749m) 등을 비롯한 23개의 용암동굴이 발달하고 있다. 翰林川内 明月國校正門 앞과 정지천에서는 규모가 큰 陷沒帶와 용암동굴도 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 용암동굴이 海拔高度 225m에서 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 斜面的 傾斜分岐點이 되고 있다(元鐘寬,

1989).

本域 및 濟州島 地域에서 용암의 噴出時期와 各 地層間의 對比에 對한 研究는 Taneda(1970), 農業振興公社(1971), 元鐘寬(1975), 李文遠(1982) 등이 있다. 本 研究에서 岩種別 噴出順序와 地域系統은 “濟州島의 形成課程과 火山活動에 關한 研究”(元鐘寬, 1975)의 分類案을 따랐다(Table 1).

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(CH)	분석구			
플라이스톤	후기	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)	사흥리현무암	성판악 하와이트	
		알카리현무암	반상휘석현무암(PAB-II) 조면암(T-III) 장석현무암(FB-III) 장석현무암(FB-II) 반상장석현무암(PFB-I) 반상휘석현무암((PAB-I)	범정리조면암 하효리현무암 제주현무암	시흥리 하와이트 범정리 뮤지어라이트 하효리 하와이트	
		중기	서귀포 lava			각섬석 뮤지어라이트
			산방산 lava	신양리층(SYF)	신양리층	산방산조면암
		세기		장석현무암(FB-I) 휘석현무암(AB) 조면암(T-II) 성산층(SSF) 조면암(T-I)	중문조면암 성산 및 화순층 서귀포조면암	중문 하와이트 성산층 서귀포 하와이트
				침상장석현무암(FOB)	포선리현무암	포선리 알카리현무암
		플라이오세	서귀포층 한라산알카리	서귀포층 기저현무암	서귀포층 기저현무암	서귀포층 기저현무암
시대상	화강암	화강암	화강암	화강암		

物 性

岩石의 物性(physical properties)은 그 岩石의 組織과 構成成分에 좌우되며, 또한 岩石의 基本的 性質을 意味한다. 따라서 物性에 對한 測定 및 檢討는 岩石의 工學的 性質 究明에 重要한 基礎資料로 活用된다. 이를 위하여 涯月地域 錦城川으로부터 高山地域 전담동 一帶에 이르는 調査地域에 對하여 68개 地點에서 試料를 採取하였다(Fig. 2).

採取된 試料는 直徑 2.5cm, 높이 5cm로 直徑對 높이의 比를 1:2로 整形하여 各種 物性을

測定하였다. 測定된 物性은 單位重量(r), 空腔率(n), 間隙比(e), 含水率(w) 等이다(Table 2). 測定된 物性값인 單位重量(r : 1.76~2.79g/cm³), 空腔率(n : 14.89~47.67%), 間隙率(e : 0.17~0.91), 그리고 含水率(w : 2.79~13.87%)의 分散範圍가 크게 나타나고 있다. 單位重量(r)과 間隙比(e)와의 相關性을 圖示하면 Fig. 3과 같고 涯月地域이 比較的 높고 高山地域이 比較적 낮게 나타나고 있어서 대체로 北側에서 南側으로 감에 따라 점차 낮아지는 物性을 보여주고 있다.

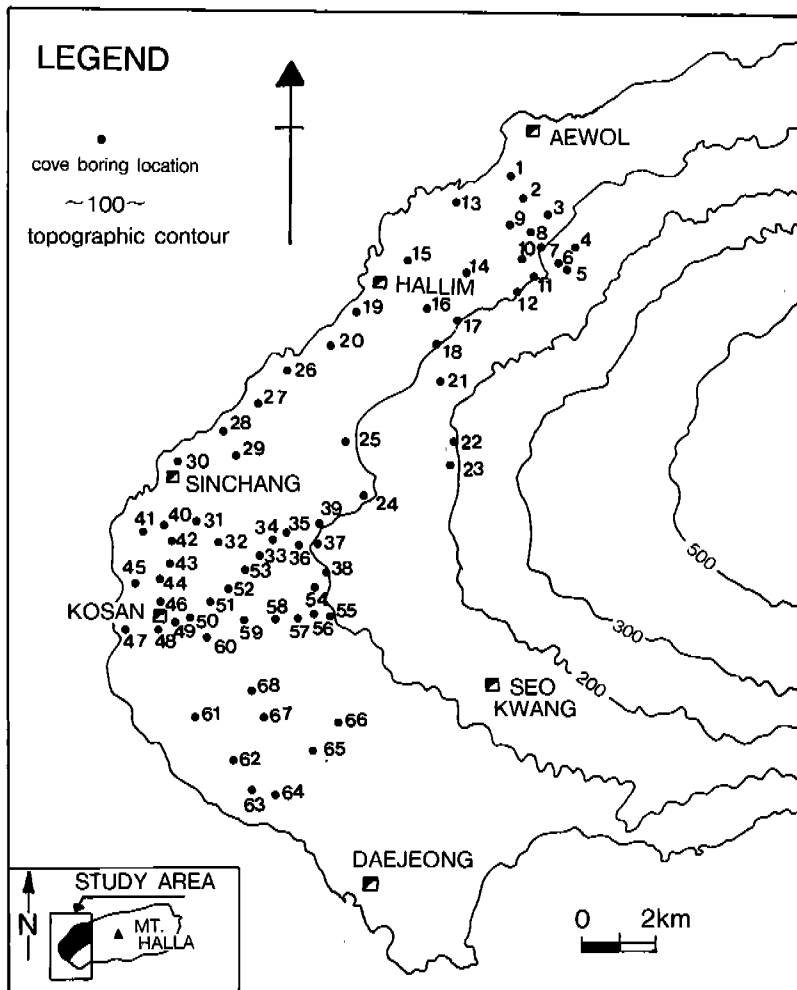


Fig 2. Core boring location map of the study area.

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

Sample No.	Unit weight (ρ_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
B10	2.27	31.91	0.46	9.38
B11	2.21	24.12	0.31	8.08
B12	2.28	32.09	0.47	9.61
B13	2.46	19.65	0.24	8.09
B14	2.14	32.32	0.47	9.61
B15	2.14	29.02	0.40	4.46
B16	2.59	24.34	0.32	8.32
B17	2.19	33.46	0.59	8.01
B18	2.55	19.31	0.23	5.22
B19	2.31	24.43	0.32	5.19
B20	2.25	27.49	0.37	6.99
B21	2.51	16.78	0.20	4.22
B22	2.51	22.22	0.28	5.19
B23	2.42	20.84	0.26	5.48
B24	2.70	15.26	0.18	2.79
B25	1.93	42.57	0.74	9.16
B26	2.05	35.82	0.55	7.64
B27	2.34	28.01	0.38	5.17
B28	2.73	26.08	0.35	2.88
B29	2.22	27.60	0.38	7.67
B30	2.25	26.75	0.36	6.75
B31	2.37	25.18	0.33	6.67
B32	2.54	16.27	0.19	4.26
B33	1.97	27.93	0.38	9.53
B34	1.92	42.30	0.73	10.55
B35	2.57	19.32	0.23	5.84
B36	2.24	24.68	0.32	7.78
B37	2.44	21.66	0.27	5.81
B38	2.41	18.00	0.21	5.14
B39	2.26	32.63	0.48	7.40
B40	2.09	35.67	0.55	7.73
B41	2.66	16.09	0.19	3.21
B42	2.01	30.67	0.44	9.06
B43	2.31	24.41	0.32	6.40
B44	1.99	42.38	0.73	8.40
B45	2.09	33.85	0.51	10.29
B46	2.21	34.50	0.52	6.40
B47	1.86	51.44	1.05	19.57
B48	2.05	33.54	0.50	6.97
B49	2.14	34.70	0.53	6.21
B50	2.02	40.48	0.68	9.98
B51	2.04	39.12	0.64	9.65
B52	2.11	40.64	0.68	9.61
B53	2.04	34.14	0.51	7.30
B54	2.47	22.19	0.28	5.72

B55	1.98	35.52	0.55	7.54
B56	2.51	19.60	0.21	5.07
B57	2.18	37.82	0.60	8.53
B58	2.22	29.88	0.42	7.83
B59	2.63	19.10	0.23	4.16
B60	1.76	47.67	0.91	11.38
B61	2.32	27.49	0.37	7.17
B62	2.13	35.40	0.54	6.18
B63	2.14	36.03	0.58	6.45
B64	2.54	20.54	0.25	5.50
B65	2.49	19.35	0.23	5.20
B66	2.32	29.53	0.41	4.94
B67	2.32	35.48	0.54	9.32
B68	2.05	37.07	0.58	8.05

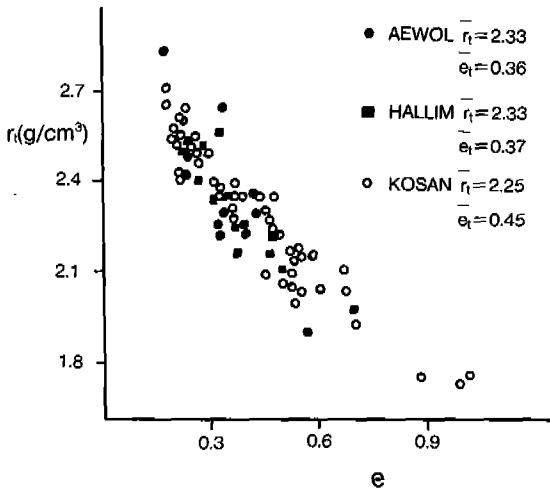


Fig 3. Relationship between void ratio(e) and unit weight(r) of Aewol, Hallim, and Kosan area by collected samples in the study area.

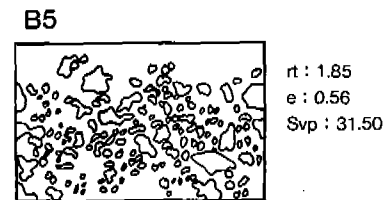
氣 孔

濟州島 지역의 熔岩體는 多量의 氣孔이 發達해 있고, 이 氣孔은 地質工學的 性質을 左右하게 된다. 氣孔狀 및 分布에 對한 定量的인 評價를 實施하기 위해 採取된 試料를 拓本, 平面圖示化하여 表面氣孔率(Svp), 氣孔 모양(Vg), 氣孔크기(Vs), 氣孔破壞角(θ_s) 등 다양한 氣孔狀을 測定하였다.

表面氣孔率(Svp)

먼저 採取된 試料를 拓本하여 平面圖示化된 (Fig. 4) 그림에서 單位面積當 表面氣孔의 分

布密度, 즉 表面氣孔率을 測定하였다(Table 3). 本 試料에 對한 表面氣孔率의 範圍는 0.7~36.9%로 分散幅이 넓은 氣孔狀을 보여주고 있다.



B65



rt : 2.54
e : 0.25
Svp : 7.20

Fig 4. Surface vesicle-porosity(Svp) of planed samples in the vicinity of the Aewol-Kosan area in Cheju Island.

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 (mm)	Surface vesicle porosity (%)	Vesicle failure angle(Vfa) (degree)
B 1	0.46	1.60	4.60	H80
B 2	0.47	1.99	19.10	H70
B 3	0.49	4.05	21.60	H80
B 4	0.42	2.17	6.00	H40
B 5	0.51	2.08	31.50	H 0
B 6	0.44	2.15	32.10	H40
B 7	0.39	2.08	3.30	H80
B 8	0.46	1.77	6.90	H50
B 9	0.43	1.55	1.60	H60
B10	0.45	3.58	15.50	H70
B11	0.47	2.04	10.90	H50
B12	0.60	1.82	13.20	H70
B13	0.57	1.98	8.90	H80
B14	0.47	2.28	25.90	H20
B15	0.53	2.43	21.50	H70
B16	0.64	1.77	6.90	H50
B17	0.58	1.92	26.40	H70
B18	0.39	2.50	8.70	H70
B19	0.54	2.92	25.30	H70
B20	0.52	2.75	15.50	H70
B21	0.55	1.62	1.00	H60
B22	0.41	1.85	1.70	H20
B23	0.52	2.75	8.90	H30
B24	0.66	1.75	3.30	H40
B25	0.62	2.56	27.00	H70
B26	0.56	1.81	30.20	H60
B27	0.53	1.95	21.60	H80
B28	0.61	1.51	4.20	H70
B29	0.51	1.83	21.00	H80
B30	0.49	1.81	10.20	H80
B31	0.43	2.19	7.10	H60
B32	0.57	1.90	1.70	H80
B33	0.56	2.08	25.10	H40
B34	0.57	2.59	27.80	H40
B35	0.53	1.41	1.40	H40
B36	0.57	2.65	13.60	H60
B37	0.50	2.43	12.80	H30
B38	0.64	2.40	6.60	H40
B39	0.56	1.79	2.20	H80
B40	0.48	4.45	18.30	H60

B41	0.72	2.17	4.30	H70
B42	0.45	3.50	24.40	H60
B43	0.59	2.86	17.20	H60
B44	0.59	3.22	18.20	H60
B45	0.60	1.82	24.30	H60
B46	0.53	3.72	14.20	H60
B47	0.00	0.00	1.00	
B48	0.52	2.16	17.00	H60
B49	0.57	2.62	19.60	H80
B50	0.52	2.05	22.60	H20
B51	0.48	2.19	20.00	H20
B52	0.51	2.20	22.80	H10
B53	0.53	2.20	24.30	H10
B54	0.61	1.63	3.00	H70
B55	0.61	3.64	21.70	H70
B56	0.45	2.33	0.70	H20
B57	0.58	4.82	25.90	H30
B58	0.55	2.73	19.20	H70
B59	0.62	4.06	3.70	H30
B60	0.54	2.99	36.90	H80
B61	0.62	2.89	13.00	H50
B62	0.62	6.07	19.20	H30
B63	0.53	3.13	24.70	H60
B64	0.57	2.02	7.20	H60
B65	0.55	2.11	12.30	H30
B66	0.51	2.04	16.50	H60
B67	0.58	2.35	3.50	H30
B68	0.54	2.85	25.00	H 0

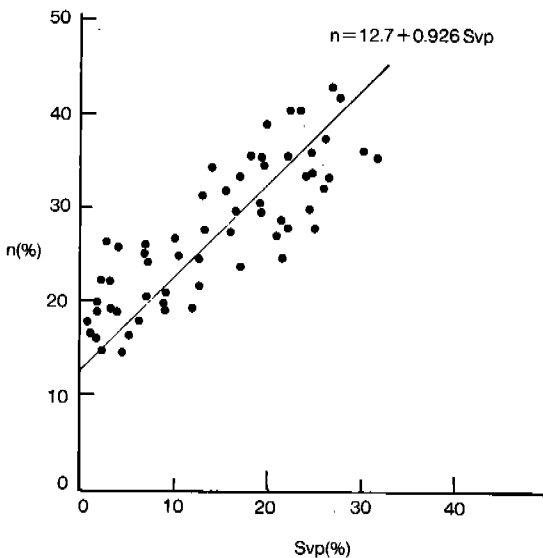


Fig 5. Relationship between surface vesicle-porosity (Svp) and porosity(n) be collected samples in the study area.

地域的인 表面氣孔率을 보면 涯月地域이 1.6~32.1%($Svp=13.5\%$), 翰林地域 1.0~30.2% ($Svp=15\%$), 高山地域이 0.7~36.9% ($Svp=15.5\%$) 등으로 나타나고 있어서 物性에 提示된 바와 같이 涯月地域에서 高山地域으로 감에 따라, 分布分散 및 分布密度가 漸次 크게 나타나고 있다. 이를 空隙率과의 相關性을 點示해 보면 Fig. 5와 같다.

氣孔모양(Vg)

氣孔모양(Vesicle shape)은 熔岩噴出時 熔岩의 流動速度, 方向, 原地形 等に 支配된다고 할 수 있다. 氣孔모양에 對한 力學的 性質은 軸比(長軸/短軸)가 1인 球形에 가까운 형태보다 매우 伸張된 橢圓形을 이루고 있을 때 弱한 強度特性을 갖게 된다. 氣孔모양은 0.39~0.72까지의 範圍를 나타내고 있어, 대체로 伸張된 모양임을 알 수 있다(Table 3).

氣孔모양의 分布相은 海岸邊이 $\overline{Vg} : 0.55$ 이

고, 噴出 中心地로 가면서 $\overline{Vg} : 0.53$, $\overline{Vg} : 0.47$ 로 漸次 橢圓形으로 轉移하는 樣相을 보인다.

地域的 分布는 涯月地域 $\overline{Vg} : 0.39 \sim 0.60$ ($\overline{Vg} : 0.48$), 翰林地域은 $\overline{Vg} : 0.39 \sim 0.66$ ($\overline{Vg} : 0.54$), 高山地域이 $\overline{Vg} : 0.43 \sim 0.72$ ($\overline{Vg} : 0.56$)을 보여 氣孔形成이 보다 急斜面을 갖는 涯月地域보다 低平한 丘陵地帶를 나타내는 翰林, 高山地域으로 갈수록 圓形에 가까워지는 樣狀을 보이고 있다.

氣孔크기(V_s)

氣孔크기(Vesicle size)는 Shimamoto, Ikeda(1976)에 衣해, 長軸과 短軸의 長이를 利用하여, (長軸×短軸)을 氣孔의 크기로 하였다. 이들 氣孔크기의 分布範圍는 1.55~6.07 mm로 그 分散幅은 크다. 地域別 氣孔크기의 樣狀을 보면 涯月地域이 $\overline{V_s} : 2.22$ mm, 翰林地域이 $\overline{V_s} : 2.00$ mm, 高山地域이 $\overline{V_s} : 3.44$ mm로서 翰林地域이 氣孔크기가 작게 나타나고 高山地域이 크게 나타나고 있다. 翰林地域의 表面氣孔率은 涯月地域보다 높게 나타나고 있는데, 이는 크기가 작은것이 많이 분포하고 있다는 것이 된다.

氣孔破壞角(θ_a)

佐武(1973)는 多孔質 火山岩體의 氣孔을 하나의 分離面 또는 破壞面으로 간주하고 應力은 이와같은 破壞面을 따라 應力의 集中現像이 일어나 破壞를 일으킨다고 하였다. 따라서 氣孔破壞角은 試料를 平面圖示化한 그림에서 氣孔의 長軸方向과 水平面과의 이루는 角을 氣孔破壞角(θ_a)으로 하였다(Fig. 6).

Fig. 6은 氣孔의 長徑과 短徑 그리고 氣孔破壞角(θ_a)을 측정하는 方法을 提示한 것이다. 測定上의 便宜를 위하여 記號(N: 地表, E: 右側, W: 左側)를 表示하였다.

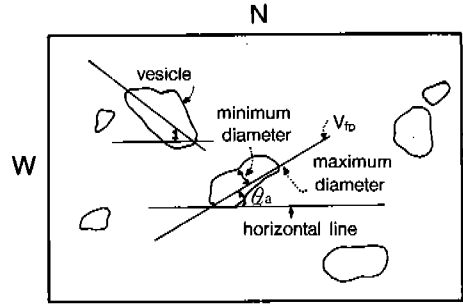


Fig 6. Measuring the maximum, the minimum diameters, and the vesicle failure angle in planed sample. (θ_a : vesicle failure angle, V_{fp} : vesicle failure plane)

測定된 氣孔破壞角의 集中方向性を Rose diagram으로 나타낸 것이 Fig. 7이다. 이들 破壞角은 $\theta_a > 70^\circ$ (37%), $\theta_a : 70^\circ \sim 45^\circ$ (39%), $\theta_a < 45^\circ$ (24%)로 區分하였다.

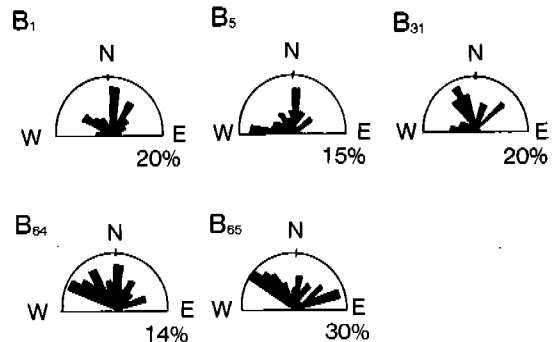


Fig 7. Rose diagram of vesicle failure angle of collected samples in the study area.

高角度($\theta_a > 70^\circ$)인것은 海岸을 따라 발달하고, 低角度($\theta_a < 45^\circ$)일수록 噴出 中心地로 接近하고 있음을 볼 수 있다. 이들의 分布를 보면 Fig. 8과 같다.

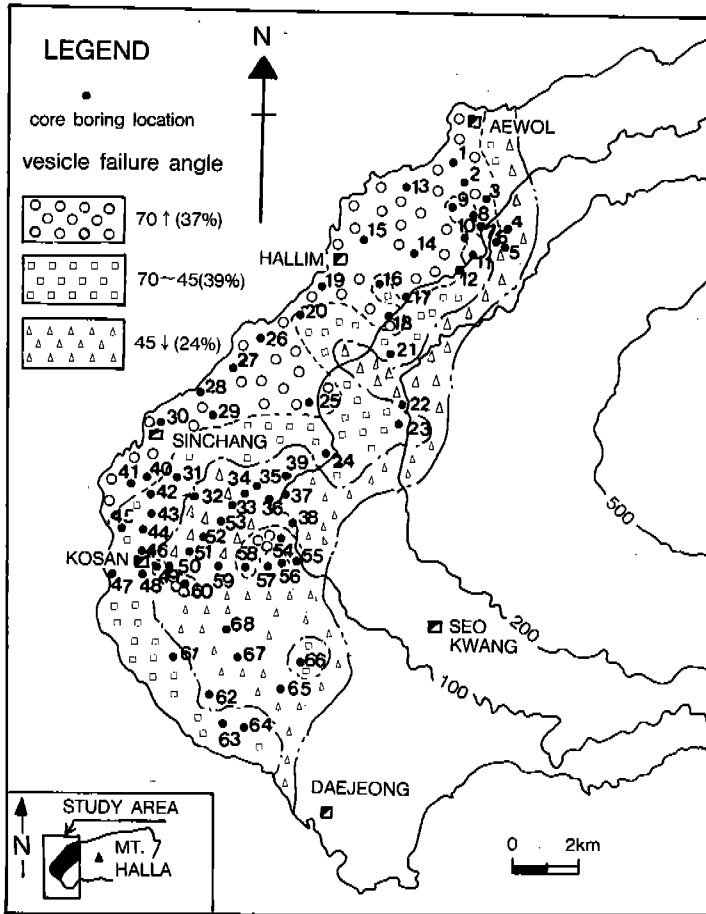


Fig 8. Distribution map of vesicle by vesicle failure angle(70 degree over, 70-45 degree, 45 degree under) in the study area.

一軸壓縮強度

一軸壓縮強度는 試料(直徑: 2.5cm, 높이: 5.0cm) 68個에 對한 一軸壓縮強度試驗을 實施한 것이다. 이들 強度試驗値는 84~522Kg/cm²로 큰 分散값을 나타내고 있다(Table 4). 이와같은 낮은 強度값을 갖는 것은 氣孔의 發達로 인한 것이라 할 수 있다.

地域別 強度範圍를 보면 涯月地域이 124~522Kg/cm²($\bar{\sigma}_c=278\text{Kg/cm}^2$), 翰林地域이

169~424Kg/cm²($\bar{\sigma}_c=277\text{Kg/cm}^2$), 高山地域이 135~327Kg/cm²($\bar{\sigma}_c=249\text{Kg/cm}^2$)로서 이 역시 涯月地域에서 高山地域으로 감에 따라 強度값이 낮아지고 있다.

이들 強度와 間隙係數와의 相關을 보면, 間隙의 減少率에 대한 強度의 增加率은 他岩石(例 우리나라에 分布하는 主要 岩石類의 力學的特性, 1982)에 比하여 작게 나타나고 있음을 알 수 있다(Fig. 9).

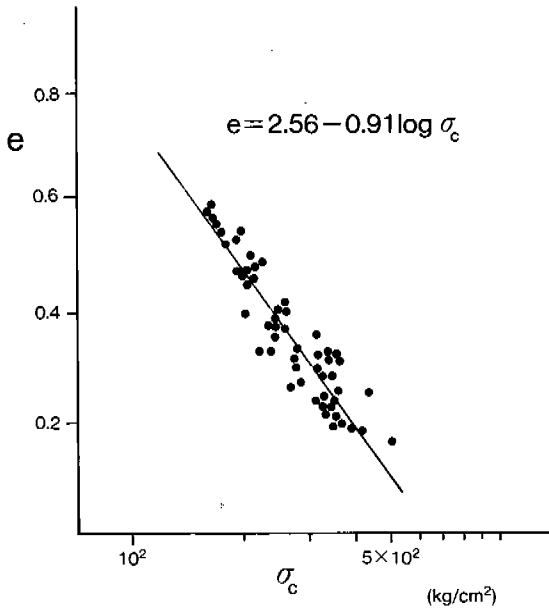


Fig 9. Relationship between uniaxial compressive(σ_c) and void ratio(e) by collected samples in the study area.

考 察

岩石에도 규모는 다르나 岩盤과 같이 大小의 潛在적 不連續面이 존재하는데 이는 强度値의

分散을 가져오는 主要한 원인이 된다. 흔히 强度(strength)라고 함은 어떤 物質材料가 破壞될 때 발휘되는 最大 抵抗力이라고 할 수 있고, 또 岩體의 破壞强度는 破壞角(θ) 및 破壞强度角(Φ)과 관계있다고 할 수도 있다. 本 火山岩體의 破壞强度는 氣孔의 發達樣狀에 따라 크게 支配되므로 氣孔의 代表 破壞發達面을 破壞面으로 보고, 水平面과의 이루는 角을 破壞角(θ_s)로 하였고, 破壞强度角(Φ)은

$$\theta_s = 45 + \frac{\phi}{2}, \quad \phi = 45 - \frac{\phi}{2} \text{ 의}$$

式에서 求할 수 있으나, θ_s 및 Φ 는 硯보기 값에 불과하므로 本 岩體의 内部間隙比(e), 破壞面 方向分布率(V_0) (Table 5) 및 硯보기 强度比(K_a),

$$K_a = \frac{\tan \psi}{\tan(\psi + \phi)} \quad (\text{Bray, 1967}) \text{에서}$$

有效强度比(K_e), $K_e = K_a \times e \times V_0$ 로 두어, 이 값이 本 岩體의 有效强度比로 假定하면, 從으로 ψ , 橫을 Φ 로 하여, 各 $10^\circ \sim 70^\circ$ 까지의 限界範圍를 두면 Table 6과 같은 K_e 값이 算定된다. Table 6은 代表시료 B1, B65, B31, B5를 제시한 것이다.

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	B 10	B 11	B 12	B 13	B 14	B 15	B 16	B 17	B 18	B 19	B 20
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.	B 21	B 22	B 23	B 24	B 25	B 26	B 27	B 28	B 29	B 30	B 31	B 32	B 33	B 34	B 35	B 36	B 37	B 38	B 39	B 40
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.	B 41	B 42	B 43	B 44	B 45	B 46	B 47	B 48	B 49	B 50	B 51	B 52	B 53	B 54	B 55	B 56	B 57	B 58	B 59	B 60
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.	B 61	B 62	B 63	B 64	B 65	B 66	B 67	B 68												
σ_c (Kg/cm ²)	241	176	174	378	445	135	173	166												

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

Sample No. Vesicle angle ori.	B 1 (%)	B65 (%)	B64 (%)	B31 (%)	B 5 (%)
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

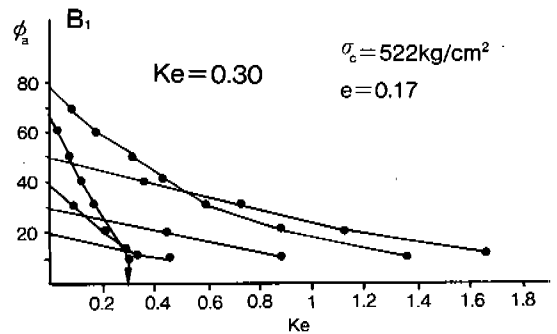
Table 6. Effective strength ratio(K_e) of strength anisotropy in the study area.

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

$\psi \backslash \Phi_a$	70	60	50	40	30	20	10	remarks
NE								B1 $e=0.17$ $\sigma_c=522\text{Kg/cm}^2$
10	0.08	0.17	0.31	0.42	0.59	0.88	1.36	
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	
NE								B65 $e=0.23$ $\sigma_c=445\text{Kg/cm}^2$
10	0.06	0.11	0.20	0.28	0.39	0.57	0.88	
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	0.10	1.61	

50				0	0.58	0.19	1.90	
60					0	1.00	2.03	
70						0	0.32	
NE								
10	0.09	0.17	0.31	0.43	0.60	0.89	1.37	
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								B64 e=0.25 $\sigma_c=378\text{Kg/cm}^2$
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	
NE								
10	0.03	0.06	0.12	0.17	0.24	0.35	0.54	
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								B31 e=0.34 $\sigma_c=278\text{Kg/cm}^2$
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	
NE								
10	0.21	0.41	0.75	1.03	1.44	2.12	3.29	
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								B5 e=0.56 $\sigma_c=124\text{Kg/cm}^2$
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	

이 Ke값들은 方向性에 따른 한 岩石試料에 對한 破壞强度比(Ke)가 되어 多樣한 强度 異方性을 나타내고 있다. 그러나 이들은 한 岩石의 内部 破壞應力比가 되고 있어서, 한 試料의 代表破壞 强度比를 導出할 必要가 있다. 따라서 從軸에 破壞强度角(ϕ_a)를, 橫軸에 有效强度比(Ke)를 두어 作圖하면 Fig. 10과 같은 强度 異方性圖가 된다.



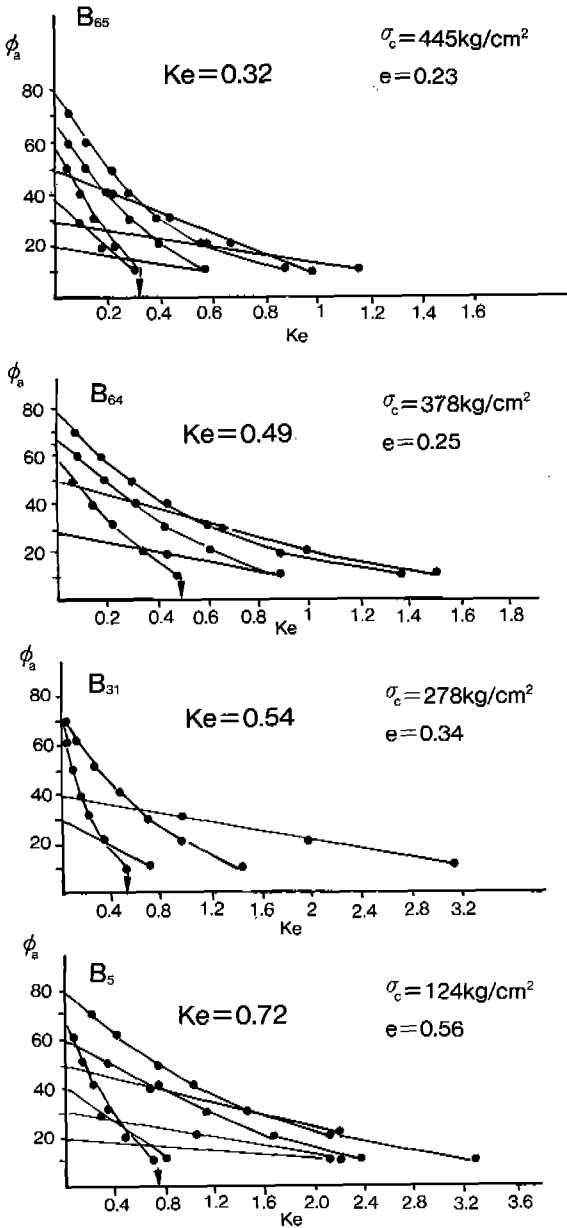


Fig 10. Graphic showing strength anisotropy and effective strength ratio(Ke) of B1, B65, B31, B5.

이 그림에서 보면 한 試料當 4~7個의 強度 分布曲線이 나타나고 있다. 여기서 破壞 強度 角 ϕ_a 가 크고, 有效強度比 Ke가 적은값을 갖는 強度 分布曲線이 本 試料의 代表 強度 分布曲

線이 된다. 따라서 試料 B1에서는 Ke가 0.30이 되고, 이때의 間隙係數(e)는 0.17이고, 一軸壓縮強度는 522 Kg/cm^2 이 되며, B65는 Ke : 0.32, e : 0.23, σ_c : 445 Kg/cm^2 , B64는 Ke : 0.49, e : 0.25, σ_c : 378 Kg/cm^2 , B31은 Ke : 0.54, e : 0.34, σ_c : 278 Kg/cm^2 , B5는 Ke : 0.72, e : 0.56, σ_c : 124 Kg/cm^2 이다. 여기서 本 地域의 強度 分布를 대략 보면 海岸에서 內陸으로 감에 따라 強度가 減少하는 傾向을 보여 주고 있다.

또 有效強度比(Ke)와 一軸壓縮強度比(σ_c)와의 相關性을 보면 Fig. 11과 같고, 他岩石(김, 1982)보다 Ke값이 크게 나타나고 있어서 地質工學的 分類上 軟岩體에 該當된다고 할 수 있다.

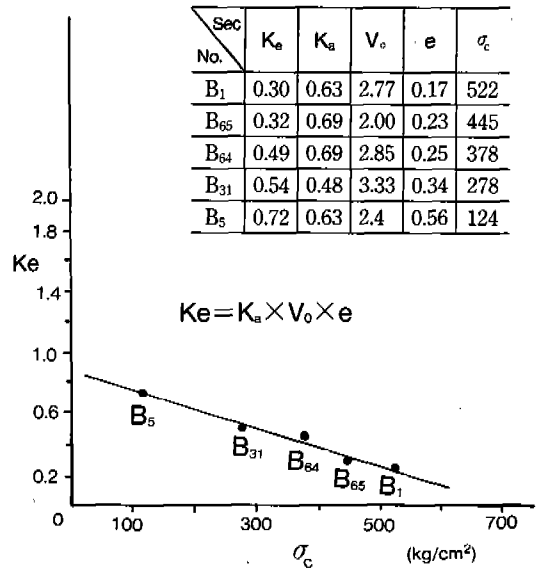


Fig 11. Relationship between uniaxial compressive strength (σ_c) and effective strength ratio(Ke) of each samples in the study area.

應力性

岩石의 應力은 外力에 대한 内部의 抵抗力을 말하는데, 應力의 比($\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$)를 그 岩石에 대한 強度比($K = \frac{\sigma_3}{\sigma_1}$)라 할 수 있다. 前項(強度特性)에서 記述된 바와 같이 本 岩體의 強度比는 氣孔相과 間隙係數에 크게 左右됨으로 有效強

度比(Ke)를 導入하여 本 岩體에 對한 應力性을 提示한다. 有效強度比는

$$Ke = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{\sigma_h}{\sigma_c} \text{ 로 } \sigma_h = \sigma_c \times Ke \text{ 가 된다.}$$

여기서 σ_c 는 一軸壓縮強度(Table 4)이다. 代表 試料에 對하여 水平應力(σ_h)을 算定하면

$$B_1 : \sigma_h = 157\text{Kg/cm}^2, \sigma_c = 522\text{Kg/cm}^2$$

$$B_{65} : \sigma_h = 142\text{Kg/cm}^2, \sigma_c = 445\text{Kg/cm}^2$$

$$B_{64} : \sigma_h = 185\text{Kg/cm}^2, \sigma_c = 378\text{Kg/cm}^2$$

$$B_{31} : \sigma_h = 150\text{Kg/cm}^2, \sigma_c = 278\text{Kg/cm}^2$$

$$B_5 : \sigma_h = 89\text{Kg/cm}^2, \sigma_c = 124\text{Kg/cm}^2$$

가 된다.

垂直應力(σ_v)과 水平應力(σ_h)의 應力狀態에서 하나의 應力點으로 나타내기 위하여 Rapp Peck(1969)이 提示한 p-q diagram을

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

適用하여 圖示하면 Fig.12와 같고, 여기서 q는 最大 剪斷應力의 強度 즉 Mohr圓의 最大頂點이 되며, 이때 p는 Mohr圓의 中心이 된다. 즉

應力狀態는 應力點의 座標인 하나의 點으로 表示되고, 이 點과 原點이 이루는 線이 破壞線(failure line)이 된다.

이 破壞線과 水平面이 이루는 角이 破壞強度角(α)이 된다. 따라서

$$\frac{q}{p} = \tan \alpha \text{ 가 되므로}$$

$$\sin \phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} = \frac{q}{p} = \tan \alpha \text{ 가}$$

成立되어 求하고자 하는 剪斷強度角(Φ)를 算定할 수 있다. p-q diagram에서 求한 α 와 Φ 의 값은 다음과 같다.

$$B_1 : \alpha = 27^\circ, \Phi = 30$$

$$B_{65} : \alpha = 25^\circ, \Phi = 28$$

$$B_{64} : \alpha = 19^\circ, \Phi = 20$$

$$B_{31} : \alpha = 17^\circ, \Phi = 16$$

$$B_5 : \alpha = 10^\circ, \Phi = 10$$

以上の 剪斷 強度角(Φ)과 一軸壓縮強度(σ_c)를 갖고 Mohr 應力圓을 作圖하면 Fig.13과 같고, 이는 前述한 水平應力(σ_h)을 適用한 Mohr 應力圓과도 一致한다. 이 應力圓에서 求한 代表

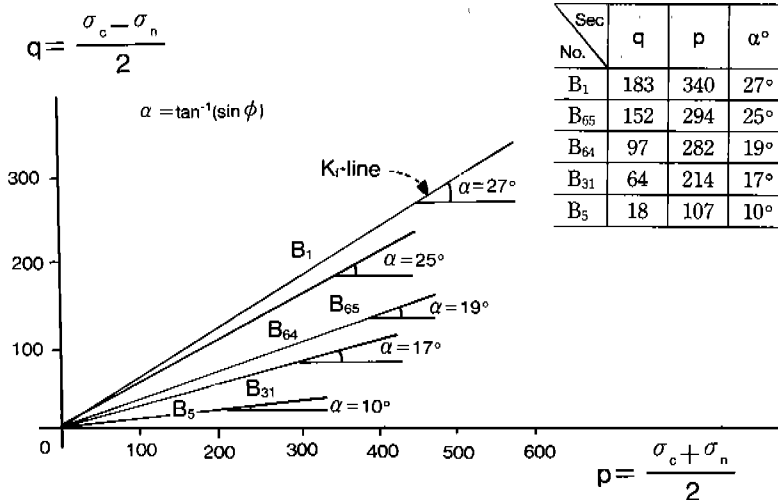


Fig 12. p-q diagram of each samples in the study area.

試料의 剪斷에 衣한 剪斷破壞角(θ)과 剪斷應力(τ_n)은 다음과 같다.

$$B_1 : \theta = 60^\circ, \tau_n = 215 \text{Kg/cm}^2$$

$$B_{65} : \theta = 59^\circ, \tau_n = 195 \text{Kg/cm}^2$$

$$B_{64} : \theta = 55^\circ, \tau_n = 172 \text{Kg/cm}^2$$

$$B_{31} : \theta = 54^\circ, \tau_n = 134 \text{Kg/cm}^2$$

$$B_5 : \theta = 50^\circ, \tau_n = 112 \text{Kg/cm}^2$$

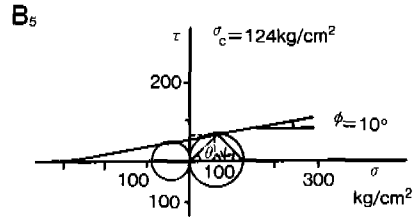
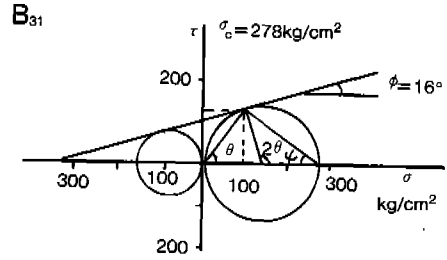
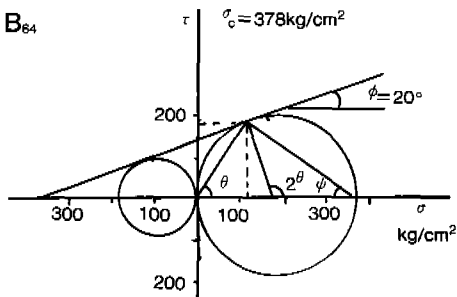
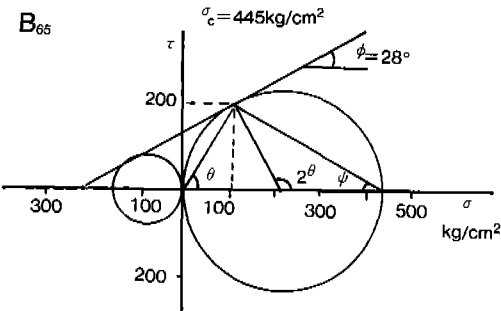
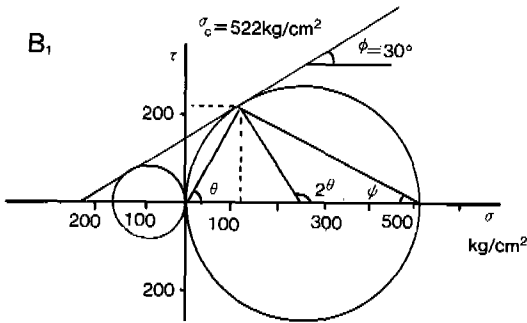


Fig 13. Mohr circle of B1, B65, B64, B31, B5.

破壞性

岩體의 破壞特性은 그 岩體에 存在하고 있는 微細한 crack에 依해 支配를 받는다. 즉, Griffith는 岩石에 荷重이 가해지면, crack의 선단부 및 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 漸次 crack이 擴大됨으로서 岩石에 龜裂이 일어난다고 하였다. 어떤 岩體에 破壞가 일어 나기위한 條件으로 最小 主應力(σ_c)과 最大 主應力(σ_h)과의 사이에 存在하는 關係는

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

이므로 Φ 는 破壞比(Ralph Peck, 1969)가 된다. 이에 따라 本 火山岩體의 代表 試料에 대한 破壞比를 算定하면

$$B_1 : N\Phi = 3.3, B_{65} : N\Phi = 3.1$$

$$B_{64} : N\Phi = 2, B_{31} : N\Phi = 1.8$$

$$B_5 : N\Phi = 1.4 \text{이 된다.}$$

前述한 有效強度比(K_e)를 從軸에, 破壞比($N\Phi$)를 橫軸에 두어 點示하면 Fig. 14와 같고

一般的인 他 岩石(金, 1982)에 比하여 破壞比가 작게 나타나고 있다.

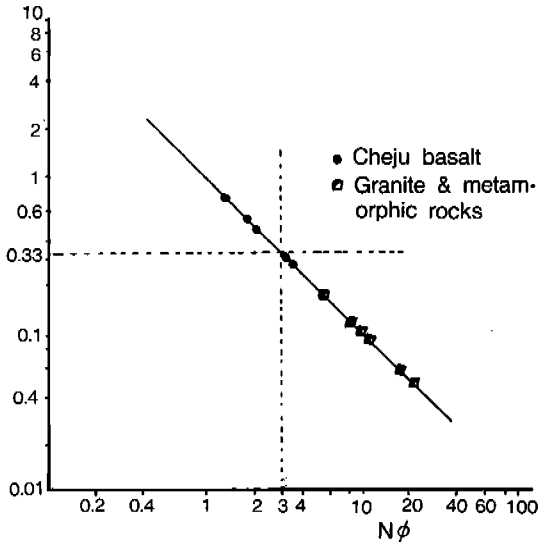


Fig 14. Relationship between failure ratio($N\phi$) and effective strength ratio(K_e) of each samples in the study area.

Griffith 破壞理論에 의하면 岩體의 強度比($K = \frac{\sigma_h}{\sigma_c}$)가 0.33, 즉 1/3일때 岩體에 crack이

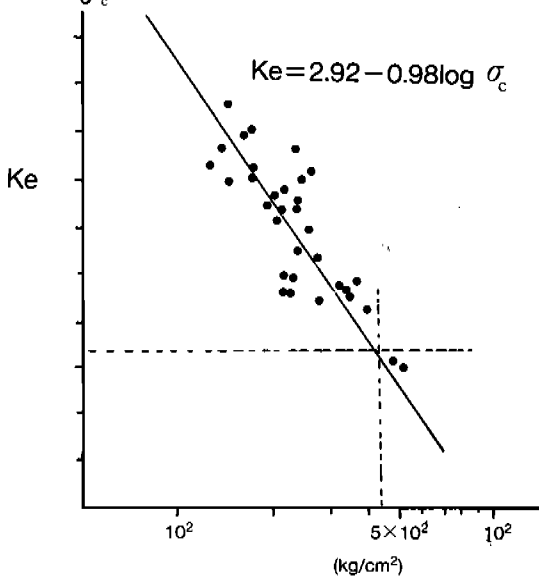


Fig 15. Relationship between uniaxial compressive strength(σ_c) and effective strength ratio(K_e) of each samples in the study area.

發生하여 破壞가 일어난다고 하고 있다. 이에 따라 濟州島 北西部 一帶의 玄武岩類들의 試料에 對하여 點示하여 보면(Fig.15) 試料 B₁, B₆₆를 除外한 거의 大部分 破壞 限界值인 $K_e = 0.33$, $N\phi = 3$ 以下에 點示됨을 볼 때, 地質工學의 不安定 領域에 屬하는 岩體라 할 수 있다.

結 言

濟州島 北西部는 第四紀 플라이스토세-홀로세에 溢流된 熔岩體인 玄武岩이 主 構成 岩體이며, 이들 암체는 柱狀節理와 多量의 氣孔을 形成하고 또 5回~15回의 熔岩溢流가 있었다. 이 熔岩과 熔岩사이에는 熔岩空洞(lava cave)이 보통 0.5m~20m에 이르고 있으나, 2~3m인것이 보통이다. 이들 熔岩空洞에는 火山碎屑物 및 粘土層들이 挾在하고, 이들이 地下水에 의해 流去되면, 熔岩體는 崩壞, 陷沒 및 沈下를 일으키기도 한다.

이들 熔岩體는 다음과 같은 地質工學的 特性을 갖고 있다.

1. 單位重量(γ) 1.76~2.79g/cm³, 空隙率(n) 14.89~47.67%, 間隙比(e) 0.17~0.91, 含水率(w) 2.79~13.87% 및 一軸壓縮強度(σ_c)는 84~622Kg/cm² 등으로서 比較的 分布幅이 크고, 強度값은 낮은, 地質工學的 特性을 갖는 岩體이다.
2. 表面氣孔率 0.7~36.69%, 氣孔크기 1.55~6.07mm, 氣孔의 모양 0.39~0.72, 氣孔角 $\theta_a > 70^\circ$ (37%), $\theta_a = 70^\circ \sim 45^\circ$ (39%), $\theta_a < 45^\circ$ (24%) 등의 氣孔狀을 볼 때 本 火山岩體는 氣孔分布率이 크고, 매우 伸張된 橢圓形이고 氣孔角은 噴出中心地로 부터 멀어질수록 高角度를 이루고 있는 것이 本 火山岩體의 特徵이다.
3. 岩體의 겉보기 強度比(K_a)에서 有效強度比(K_e)를 導出한 結果, 0.30~0.72로서 거의

大部分의 岩體는 0.33以上으로 나타나고 있어서 破壞性이 강한 岩體이다. 또 이 有效強度比(K_e)는 $p-q$ diagram의 破壞線에서, 破壞強度角 Φ 를 算定하면 Φ 는 $30^\circ - 10^\circ$ 로서

濟州島 北西部 地域의 火山岩體는 破壞性이 강하고 地質工學的 不安定性 岩體임을 指示하고 있다.

參考文獻

- 金永琪, 金相旭, 李倫鐘, 1982, 우리나라에 分布하는 主要岩石類의 力學的特性研究. 慶北大 論文集, 34, 269-283
- 金永琪, 地質工學, 1986, 大學校材出版社, 서울, 98-120
- 金永琪, 1987, 下部慶尙層群에 發達하는 分離面의 特性研究. 地質學會誌, 23, 120-135.
- 元鐘寬, 1975, 濟州島의 形成課程과 火山活動에 關한 研究. 建國大學校理學博士學位論文.
- 元鐘寬, 1976, 濟州島의 火山岩類에 對한 岩石化學的인 研究. 地質學會誌, 12, 4 號, 207-226.
- 元鐘寬, 1989, 빌레웃 洞窟 學術調查 報告書, 濟州島, 30-42
- 金東學外 3人, 1989, 濟州島 西部地域의 火山層序와 噴出史. 韓國動力資源研究所, KR-88(B)-4.
- 佐武正雄, 1973, 岩石의 壓縮試驗에서 破壞樣式과 強度에 關한 考察
- 農業振興公社, 1986, 濟州島 地下水 試錐調查報告書
- Farmer, Ian., 1983, Engineering behaviour of rock, 2nd, ed., Chapman and Hall Ltd., London. 81-118
- Shimamoto, t., Ikeda, Y., 1976, A simple algebraic method for strain estimation from deformed ellipsoidal objects 1. basic theory. Tect. 36. 315-337
- I. W. Farmer, 1989, Engineering properties of rocks, Spon Ltd., 55-69.
- Richard E. Goodman, 1989, Introduction to rock mechanics, 2nd., 55-99.
- R. D. Lama, 1974, Handbook on mechanical properties of rocks, 1, 13-172
- M. R. H. Ramez, 1969, The flow pattern and jointing mechanism of ABUZAA BAL doleritic basalt, int. J. rock mech. min. sci., 7, 23-24
- Georet, Faust., 1978, Joint systems in the wachang basalt flows, newjersey. 21-55.
- Atilla, aydin., 1987, Surface morphology of columnar joints and its significance to mechanics and direction of joint growth, Geological society of America, 99, 605-617.
- Zhou simeng, 1986, Post-failure behaviour of rocks under uniaxial compression, 253-260.
- C. G. sammis, 1986, The failure of brittle porous solids under compressive stress states Acta metall, 34, 3, 511-526.
- A. Mur and G. Simmons, 1970, The origin small cracks in igneous rocks. int. J. Rock mech. sci., 7, 307-314.
- T. William Lambe, 1969, Soil mechanics, 122-150.