

濟州市 三大 河川地帶의 地質構造와 地形發達

尹正守* 孫仁錫**

*濟州大學校 海洋科學大學 海洋學科 **濟州道科學教育院

Landform Development with Geological Structure of the 3 Stream in Cheju City

Jeung-Su YOON*, In-Sock SON**

*Dept. Oceanography Cheju National Univ. **Cheju Science Education Institute.

The purpose of this study is to investigate the landform developments in relation with the geological structures the Byungmun, Sanji and Han stream which are situated in Cheju city. Stream drain radially from Mt. Halla in their upstream sides, but later change their course to either south or north at the northern plateau area that acted a divide.

It is well-known that stream which have perennial stream are very scarce. Due to the steep mountain slopes and short runway and impervious volcanic rock, stream get dry short after torrential run off right after rain fall. Only few stream have permanent flows in down stream shortly, and most of them furthermore developed in south-wester area of Cheju Island.

The joint system observed are dominated as follow; conjugation of $N16^{\circ} \sim 25^{\circ}E$ formed 25.2%, conjugation of $N6^{\circ} \sim 15^{\circ}W$, $N46^{\circ} \sim 55^{\circ}E$ and $N26^{\circ} \sim 35^{\circ}E$ occupied 22.7% respectively. Prevailing stream direction of the Han, Byungmun and Sanji are represented by N ~ NW directions.

The drainage pattern of the area are well developed into mostly radially on the volcanic rocks, although angulate pattern occur in places.

The Han stream is longer in length and steeper in channel gradient than Byungmun and Sanji stream. The trunk streams on the volcanic plains are generally graded. The stream order of the Hanchun has the 5th order whereas the Byungmun the 3th order and the Sanji the 2th order.

The bifurcation ratio is 2.22 in the Han stream, 2.75 in the Byungmun and 3.0 in the Sanji, which indicates that the Han stream is most highly developed in the tributaries. The slope angle in the Han stream basin is steeper than those of Byungmun and Sanji. The mean slope are higher in the trachyte and trachy-andesite terrain than in the area of basalt rocks.

In view of a slope angle, the area can be divided into four categories, that is low plains (under 5°), hilly gentle slope (under 10°), moderate steep mountain slope (over 15°), and steep mountain slope (over 20°). The mean local relief in the Han stream is higher than those of the Byungmun and Sanji.

Geological structure of the study area is controlled by place and type of lava eruption, and structure within the lava such as joint, porosity and lava tunnel. This structure seems to have contributed to the formation of the present topography along with weathering and erosion of upper tributaries of the streams and are very important in view point of landform development.

序 言

地形은 地質學的인 여러가지 여건을 基礎로 하여 發達하고 있으므로 地質的인 여러 條件과 地形發達의 關係를 연결시키는 작업을 特定地域의 地表現像을 이해하는 데는 매우 필요한 일이라고 생각한다.

火山噴出에 의하여 형성된 濟州島와 같은 火山地域에 있어서의 地質構造는 熔岩의 噴出場所와 噴出形式에 따라 일차적인 지질구조가 결정되며, 또한 斷層 節理, 용암 자체내의 熔岩洞窟과 같은 構造, 후기에 貫入 되어온 암맥, 地表개석의 정도 등에 의하여 河系의 形態決定과 지각의 어떤 斷裂狀態 등의 가장 잘 반영하는 地表가 되므로 어떤 지역의 地形發達에 중요한 의미를 갖는다.

특히 濟州島와 같은 多雨氣候環境에서는 流水作用이 浸蝕地形에 큰 영향을 미치기 때문에 火山地形이 河川에 의한 浸蝕關係를 연구하는 것은 의미 있는 일이라고 생각한다.

濟州島의 地形 및 地質에 관한 연구는 原口九萬 (1931)을 시작으로 金(1969, 1972)은 本島에 분포하는 西歸浦層과 新陽里層에 대한 古生物學的인 연구를 하였고, 1965년 金玉準은 한국 지하자원 조사소에서 地下水探查를 위한 지질조사가 이루어져 도내 상당부분 地質圖가 작성되었으며, 孫(1963)에 의해 본도전역에 걸친 1:100,000 지질도가 작성되었다.

金(1953), 朴(1985)은 地形 및 側火山에 대한 연구를 하였고, 李(1966), 元(1975), 李(1982) 등에 의하여 火山암에 대한 岩石學的, 地化學的인 연구가 이루어진 바 있으며, 尹(1987), 金(1986) 등은 濟州島의 火山活動과 第四紀 地質調査가 실시된 바 있다. 본 연구의 목적은 제주시 지역에 위치하는 漢川, 屏門川, 山地川 地帶에 발달하는 地質構造가 河川地形의 發達에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 밝혀 地質과 地形의 關係를 규명하려는 것이다.

研究 方法

本 研究는 주로 야외 조사와 실내 연구에 의하여 이루어 졌다. 야외 조사는 漢川, 山地川, 屏門川 지역을 대상으로 수차에 걸쳐 실시 하였으

며 그 내용으로는 절리 현상의 분석, 하계망의 분석, 경사분석, 기복량의 분석, 지질과 지형과의 관계 등이다. 절리는 야외에서 직접 조사하였고, 하계망 분석은 A·N Strabler의 방법을 적용하였으며, 경사치의 측정은 寺田의 방법을 주로 하고 미비점은 보완하였다. 기복량의 분포는 일정한 방안내(方眼內)의 최고점과 최저점을 정리하여 분석했고 지질과 지형과의 관계는 절리와 하천 유형과의 관계 등도 분석하였다.

結果 및 考察

1. 河川地域의 地形 및 地質概要

地 形

본 연구 지역은 한라산의 北壁에서부터 시작하여 北側 방향으로 뻗어있는 지역으로 漢川, 山地川, 屏門川 流域으로 대변되며 地形은 北低南高가 일반적인 경향이다. 山系는 크게보아 한라산을 頂上으로 하는 쉼드화산체를 이루며, 河川分布 區域에는 흑분은오름(標高 1,391m), 어승생오름(標高 1,169m), 노루생이(標高 611m), 列雁地(標高 578m), 거문오름(標高 4,397m), 남조순오름(標高 2,967m), 민오름(標高 2,517m), 들위오름(標高 510m), 삼의양오름(標高 570m) 등이 융립하고 있어 河川의 發源이 되는 分水嶺이 되고있다. 지형형태를 보면 標高 200m 지역은 매우 완만한 海岸低地帶가 넓은 범위에 걸쳐 分布하며 표고가 점점 높아짐에 따라 中山間地帶, 山岳地帶, 高山地帶로 지형 형태가 점이적 변화를 보인다. 水系는 地勢가 漢拏山을 頂上으로 하여 圓錐狀를 이루고 있어 放射狀水系를 나타낸다(Fig. 1참조).

그러나 도내의 河川들은 南·北兩側斜面에 비하여 傾斜가 완만하고 긴 斜面과 넓은 熔岩台地가 발달하는 東·西兩側斜面에는 水系의 발달이 빈약하고 대부분의 河川들은 南流 또는 北流하고 있다. 漢川의 分水嶺은 漢拏山 頂上北壁(標高 1,840m), 흑분은오름, 어승생, 列雁地 등의 山陵이고, 屏門川은 개미목東北側(표고 1,600m), 土赤岳, 들위오름 등이고, 山地川은 삼의양오름과 西三峰의 山陵으로 되어있다. 이들 하천들의 발달을 보면 南斜面의 하천들보다 비교적 直斜面이고 平行狀 河川을 이루고 있어 急流나 瀑布의 발달이 빈약하지만 漢川인 경우 조면암

및 조면암질 안산암 분포지역의 하천 양쪽벽은
 奇岩, 柱狀節理로 된 깊은 峽谷을 이루고 있으
 며, 河川의 水源은 대략 570~1,600m 地點에서
 發源한다. 그들의 流路는 單斜面上에서 直線의
 이고 "V"자 내지 "U"자형 溪谷을 이루고 있으
 며 海岸地帶에 이르기까지 下刻作用이 매우 활
 발한 편이나 幼年期 地形의 特色을 잘 나타낸
 다.

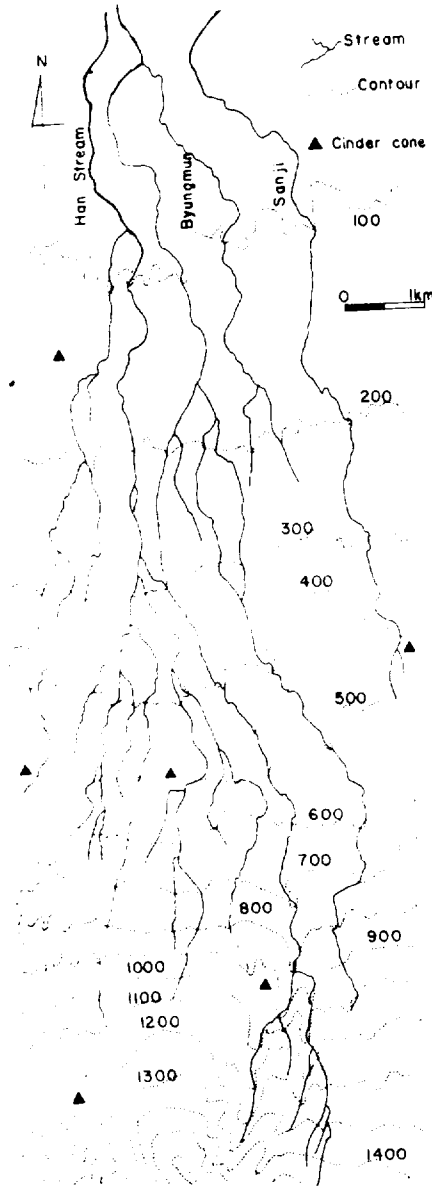


Fig. 1. Drainage network of the Byungmum, Sanji and Han stream.

河川의 河道를 결정짓는 여건으로서 火山裂
 谷, 熔岩窟의 崩壞, 流水의 浸蝕作用 및 地下水
 方向 등을 들수 있다. 이러한 독특한 火山地形
 上 특징과 流路上에 있는 透水層과 河床에 발
 달한 裂谷 및 柱狀節理에 의하여 河川水는 伏流
 하여 흔히 乾川을 이룬다. 이처럼 濟州市내 3대
 하천의 年中 流量이 없고 降雨期 이외에는 乾川
 이 되는 이유는 山斜面이 급하여 降雨期에 일시
 에 流出되고 河底가 전부 節理가 잘 발달된 火
 山岩類로 구성되고 있고 表土가 거의없는 관계
 로 降雨를 地表에 저장하지 못하는데 있는 것이
 다. 上記와 같은 이유로 市内에는 年中 流出하
 는 하천은 全無하며 상류에 유출하다 중간에서
 伏流하여 버리거나, 山地川인 경우 上流에서는
 乾川인데 海岸附近에서는 湧出流出하여 산지물
 을 형성하기도 한다.

漢川은 한라산의 北壁과 嶺북은오름, 標高 1,
 391~1,600m 부근의 山陵을 發源地로 하여 약
 16.8°의 기울기로 北行하여 少流하고 합류를 할
 때까지 流水는 伏流하다가 내륙의 山麓地域의
 합류지점에서 宙水의 형태로 湧出한다. 아흔아
 홉골의 한라산 조면암질 안산암地帶와 분출시
 가 다른 不整合面 곳곳의 河底에는 傾斜急變點
 이 나타나고 여기에 飛瀑이 걸쳐 있기도 한다.
 流水는 상류지역이 現流地帶가 되어 標高 1,200
 m까지 流下한다. 谷底에는 岩礫들이 산재하여
 850m 高度의 산악지대인 개미목도에서 삼각봉의
 北壁을 발원지로 하는 발막은다리의 支流谷과
 합류되면서부터 河底는 熔岩岩盤으로 되고 北行
 하여 표고 약600m부터 중산간지대를 貫流하다
 標高 300m부근의 熔岩平原地帶를 지날무렵 부터
 는 바위와 角礫들이 圓礫으로 바뀌었고 熔岩岩
 盤으로 된 河底로 매끈하고 곳곳에 돌개구멍,
 風化穴등이 발달하며 海岸線 가까이 400m지점
 에서 限時性 現流地帶로 옮겨가며 하천양측벽은
 칼로 깎은듯한 절벽으로 연속되며 龍淵과 같은
 특징있는 경관을 형성하는 主流路의 길이가 약
 16.5km인 하천이다. 屏門川은 개미목 동북측산
 능과 土赤岳等 標高 1,391m 부근에서 發源하여
 16°의 기울기로 北東行하여 2차支流와 합류 할
 때까지 流水는 伏流하다가 합류지점에서는 湧出
 流出하기도 한다. 屏門川의 상류지역은 한라산
 조면암질 안산암 분포지대라 이들 용암류가 갖
 는 節理의 발달과 球狀風化 등으로 深谷을 이루고

있다. 標高 600m이하의 中山間 地帶에 들어와서는 熔岩平原地域을 흐르며 가다시 부근에서 小地流와 합류 谷流를 따라 흘러 바다로 유입되는 流路의 길이가 약 14.7km인 하천이며, 河道 곳곳에서는 후기분출한 점성이 낮은 熔岩類가 이전의 谷地를 따라 흐르면서 만들어 놓은 용암둥굴이 붕괴된 곳을 따라 河道가 형성된 지역이 곳곳에 발달한다. 이런곳을 따라 地下水 天井面의 崩壞가 河道를 결정 지었으며 이로인해 유로의 曲率度가 1.5이하로 보이는 직선상하도가 屏門川이나 山地川에 특히 현저하다. 산지천은 제주시 남쪽의 삼의양오름과 서삼봉사이의 山陵 標高 약 570m지점에서 발원하여 山地浦口까지 이어지는 유로 약 10.3km의 河川의 하류에는 완만한 海岸底地帶를 형성하고 있는데 여기에는 용출량이 풍부한 산지물, 금산물 등이 湧出水가 집중되며, 다른 하천과는 달리 傾斜急變點이 발달이 미미하다. 자연사 박물관 부근이 山地川 하류에 谷底나 谷兩側絶壁은 조면암질의 浸蝕에 의해 형성된 峽谷으로 되어있고 군데군데 斷層 瀑布와 柱狀節理의 육각상을 이루고 있다.

地質

본 지역의 地質은 제4기의 플라이스토세에 속하는 침상장석-감람석현무암, 반상휘석장석현무암, 비현정질현무암, 장석현무암, 조면질암산암 및 분석구쇄설물 등으로 구성되어 있다 (Fig. 2).

1) 침상장석 - 감람석현무암

本 岩은 조사지역 西北 海岸地帶에 소규모 분포를 이루고 있으며 일명 표선리현무암이라 한다. 해발 약 400m의 東·西底地帶에는 넓은 熔岩台地의 完경사를 이루어 萬丈窟같은 熔岩洞窟을 형성하기도 하며 해안에서는 枕狀熔岩構造를 이루기도 하는데 이와같은 벼개와 같은 모양의 용암덩어리는 파에호에 용암이 해수와 접하면 표면에 탄력성이 있는 얇은 유리막으로 둘러 쌓이며 枕狀構造가 형성된다.

2) 반상휘석 및 장석현무암

本 岩은 제주시내의 底地帶와 中山間地帶에 넓게 분포한다. 암색은 외관으로 연색 내지 암색을 띠고 斑狀石理를 보여주며 斑晶은 직경 0.5~3mm의 輝石과 직경 0.5~4mm의 長石斑

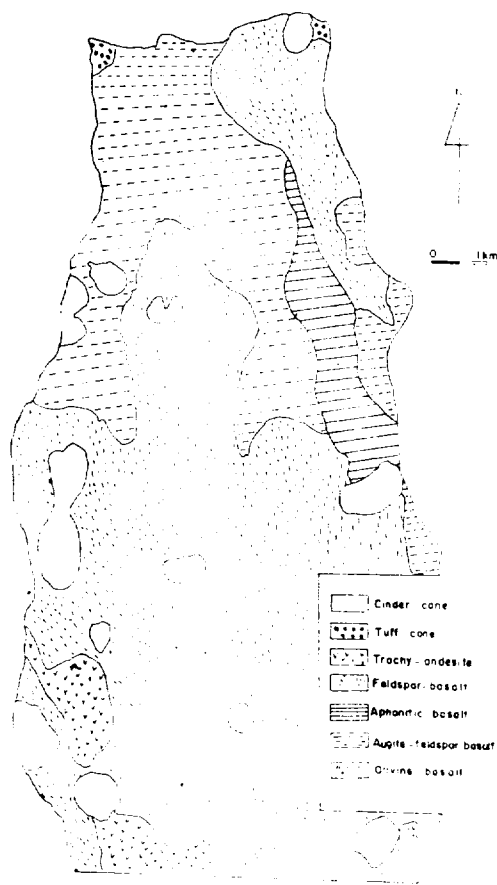


Fig. 2. Geologic map of the 3 stream in Cheju city.

晶을 함유하며 이들 경계부근에서는 휘석과 長石斑晶의 함유량이 점이적으로 감소한다. 본 암은 輝石과 長石斑晶의 유무에 의하여 반상휘석현무암과 반상장석현무암으로 구분된다. 반상휘석현무암은 본암층의 하부에 우세하고 상부에서는 輝石斑晶이 적은 반상장석현무암이 우세하다. 이들은 다른 현무암류들에 비하여 氣孔이 빈약하여 2~3%에 불과한 細孔이 있을 뿐이다.

3) 비현정질현무암

本 암의 삼의양오름에서 山地川 谷底를 따라 북쪽으로 roof pendent 형태의 분포를 보인다. 산천단 부근에서는 반상휘석-장석현무암과 장석현무암이 不整合의으로 덮고 있다. 山地川의 谷

底를 따라 연속적으로 반상회석-장석현무암과 접촉하고 있다. 암색은 암재색내지 재색을 띤다. 대체로 多孔質이고 非顯晶質이다.

輝石과 長石斑晶을 간혹 함유하기도 하며 극소량의 감람석반정을 갖는 곳도 있다.

熔岩流의 표면상에는 ropy 구조가 잘 발달되어 Phoehe 용암의 특징을 잘 나타낸다. 氣孔은 길쭉한 막대모양을 이루고 있어 용암류의 활동방향을 잘 알려준다.

岩體가 흘러내린 말단에는 흔히 조면암질안산암으로 移化하기도 한다.

4) 장석현무암

本 岩은 조사지역에 가장 넓게 分布하고 있는데 전지역의 약 70%의 면적을 차지한다. 이 岩石은 白麓潭火口를 중심으로 山岳 및 高山지대에서 동심원상의 분포를 이루기도 한다. 조사지역의 漢川과 屏門川의 峽谷들은 본암에 그 基底를 둔다. 이들 河川의 溪谷바닥은 곳에 따라 時期를 달리하는 熔岩들로 되어 있어, 이들 熔岩流의 유동상태와 차별침식에 기인된 폭포와 垂直絶壁으로 되어있기도 하다. 본암은 외관으로 암재색을 띠고 다공질이며 현저한 斑狀構造를 갖고 있음이 특징이다.

5) 조면질안산암

本 암은 白麓潭北壁의 장석현무암의 접촉지역 및 어승생악 동측주위 등 3개처에 걸쳐 소규모로 분포하고 장석질현무암과는 부정합적인 관계이다. 암색은 대체로 엷록색내지 재색을 띠고 치밀하나 玄武岩과의 경계부근에서는 다소 다공질로 변하기도 한다. 본암은 몬조나이트와 같은 새립질이고 角閃石斑晶, 長石斑晶이 1mm내의 크기와 간혹 소량의 輝石이 나타나기도 한다. 약한 斑狀構造를 보여주나 석기는 보통 조면질구조를 갖는다.

6) 응회구 퇴적층

本 응회암층은 사라봉과 화북봉사이에 소규모로 분포한다. 火成碎屑岩으로 다양한 크기의 玄武岩礫, 花岡岩礫, 화산탄 등이 무질서하게 모여 火山災로 굳어진 堆積層이다. 암색은 암재색내지 갈색을 띠고 곳에 따라 水平層理構造가 잘 발달되어 있기도 한다.

7) 분석구 퇴적물

本 調査地域의 後火山의 産物로서는 土赤岳, 어승생악, 列雁地, 거문오름, 삼의양오름, 남조순오름, 민오름, 사라봉 등 寄生火山들이 산재하여 있는데 이들 분출물은 주로 scoria, 화산탄, 화산회, 화산력, 화산암괴 등이다.

2. 節理現像의 分析

節理는 地形形成에 작용하는 직접적인 영향은 그리 크지 않으나 垂直節理 水平節理 등은 龍淵과 같은 奇岩의 자연경관 형성에 주요소가 되고 지표의 침식과 파괴의 모든 영역을 덮고 있어 계곡이나 王冠바위 같은 독립된 지형은 모두 절리 방향과 관계있는 지형을 보여준다. 節理 測定은 K·E Lowe (1950)의 기준에 따랐다. 즉 각각의 outcrop에서 주향과 경사의 측정시 개개의 절리에 대하여 측정하지않고 joint set에 대하여 측정하였으며 주어진 outcrop에서 주향과 경사의 측정치는 개개의 절리측정치가 아니라 전체의 평균치이다. 조사지역에서 총 233개의 측정치를 구하였는데 漢川 지역에서는 43개의 outcrop에서 71개의 측정치를, 屏門川 유역에서는 11개의 outcrop에서 52개의 측정치를, 山地川지역에서는 28개의 outcrop에서 52개의 측정치를 구하였다. 또한 지질과 지형부분에서 다루어질 절리와 河川 流向과의 관계는 1,2次 하천과 3次 이상의 하천을 따로 나누어 정리하였다. joint현상의 분석은 여러사람에 의해 이루어졌으나 국내에서는 김주환(1973, 1978, 1982), 소철섭(1979) 등의 연구를 들수 있으며 외국의 경우는 Cloose (1955), Blanchet (1957), Billings (1960), Pratt (1961), Chmpman (1962), Badgley (1965) 등의 연구를 들수 있다.

漢川流域의 節理系 分析

節理는 지각의 어떤 斷熱狀態를 가장 잘 반영하는 指標가 되며 따라서 節理系 現像의 정확한 이해는 지형발달에 중요한 의미를 갖는다. 漢川流域에 발달한 절리계를 암석의 분포와 결부시키지 않고 그 傾斜만을 정리해 보면 Fig 3의 joint map에서 그 특징을 잘 알아 볼수가 있다.

joint map에서 작은 숫자는 dip을 표시한다. Tabel 1에서 절리의 走向傾度를 보면 N46°~55°

E, N36°~45°E 각각 9.86%와 8.45%, N66°~75°E에 7.04%를 차지하고 있어 전체에서 이 3개의 級間이 차지하는 比重이 25.35%나 된다. 경사의 경우 대부분 70° 이상의 높은 角度를 보인다.

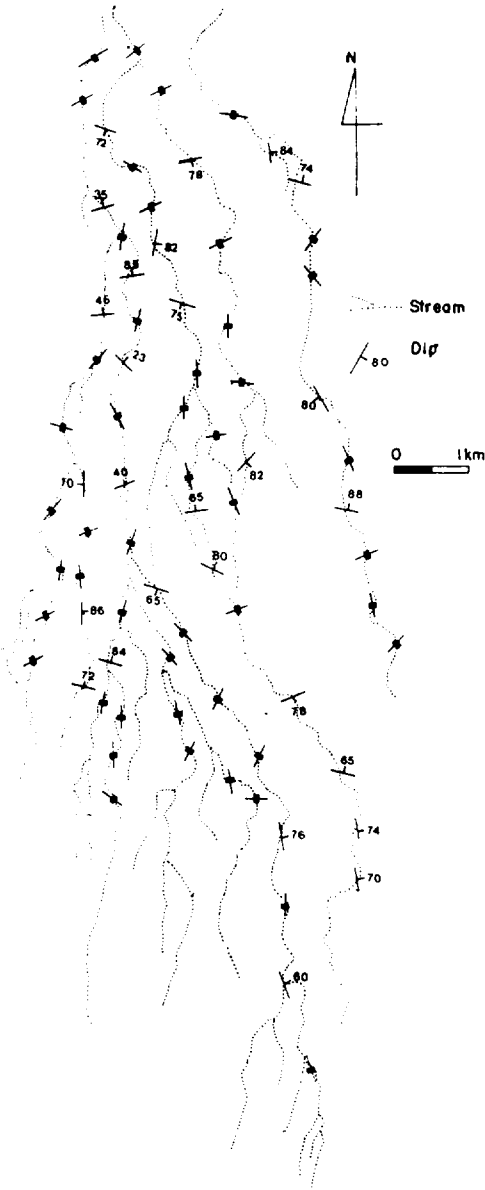


Fig. 3. Joint map of 3 stream in Cheju city

일반적으로 걸리는 평행한 group이나 set로 나타나며 서로 다른 joint set는 高角으로 교차하기도 하는데 이러한 현상은 漢川流域에 발달한 joint set에서도 잘 나타나고 있다. 즉 NW象限으로 발달하고 있는 joint set는 N46°~55W°가 7.04%로 높은 頻度를 나타내고 있는데 이 joint set는 N36°~45W°의 set와 직교하고 있으며, NW상한에서 높은 頻度를 보이고 있는 N16°~25W°의 주향을 갖는 joint set는 N46°~55W°의 set와 직교하고 있다. 따라서 2~3개의 master joint set가 存在하고 몇개의 minor joint set가 나타남을 알 수 있다. 그러나 이러한 節理系들이 걸리면을 따라서 위치의 이동이 거의 없거나 전혀 없는 경우가 많으므로 위와 같은 joint set가 나타난다고 해서 쉽게 節理系의 生成時期를 논하기는 어려울 것 같다. 漢川 谷底의 露頭에 나타나는 특징적인 현상을 岩石別로 예들들면 다음과 같다.

龍淵지역과 정실 標高 160m 부근 조면암질 산암에 나타나는 N35°E, 87°SE와 N65°E, 72°NW의 sheeting joint set이며, cross pattern의 joint 발달을 보이며 cleavage의 발달이 심하고 風化가 어느정도 진전되었다. 이러한 형태의 節理가 岩塊속으로 어느정도 깊이까지 영향을 미치고 있는가 하는 것을 定量化하지 못하였으나 이러한 joint의 발달은 힘의 방향과 크기에 따라 결정된다고 하는 것은 잘 알려진 사실이다. 오라동 부근 현무암지역에 나타나는 露頭로 N16°W, 80°SW, N85°E와 82°NW의 joint set를 보이고 있다.

屏門川 流域의 節理系分析

屏門川 流域에 발달한 joint는 Tabel 1에 정리된 joint strike의 頻度를 보면 N16°~25°E가 13.64%, N6°~15°E와 N46°~55°E가 각각 8.18%를 차지하고 있어 이 3級間이 전체에서 차지하는 비중이 30%나 되어 集中度가 매우 강함을 알 수 있다. dip의 경우도 漢川의 경우와 마찬가지로 70° 이상이 대부분이다. NW주향의 strike는 N36°~45°W, N60°~75°W, N6°~15°W에 각각 10%, 9.09%, 7.27%의 높은 頻度를 나타내고 있어 NW주향의 약 26%를 차지하고 있다.

屏門川에서도 몇개의 joint set가 나타나는데

Table 1. Frquency distribution of joint in the Byungmun, Sanji and Han Styeam Basin

Strike	Hancheun		Byungmun		Snaji	
	Fre-	%	Fre-	%	Fre-	%
N 1~ 5E	4	5.63	2	1.82		
N 6~15E	4	5.63	9	8.18	2	3.85
N16~25E	3	4.23	15	13.6	4	7.69
N26~35E	3	4.23	8	7.27	6	11.5
N36~45E	6	8.45	2	1.82	3	5.77
N46~55E	7	9.86	9	8.18	3	5.77
N56~65E	4	5.63	5	4.55	1	1.92
N66~75E	5	7.04	4	3.64	3	5.77
N76~85E	4	6.63	1	0.9		
N86~89E						
Total	40		55		22	

Strike	Hancheun		Byungmun		Snaji	
	Fre-	%	Fre-	%	Fre-	%
N 1~ 5W	3	4.23	2	1.82		
N 6~15W	4	5.63	8	7.27	5	9.62
N16~25W	5	7.04	6	5.45	2	3.84
N26~35W	3	4.23	6	5.45	3	5.77
N36~45W	4	5.63	11	10.0	3	5.77
N46~55W	5	7.04	4	3.64	5	9.62
N56~65W	1	1.4	2	1.82	4	7.69
N66~75W	3	4.23	10	9.09	4	7.69
N76~85W	3	4.23	4	3.64	4	7.69
N86~89W			2	1.82		
Total	31		55		30	

그 대표적인 것은 N6°~15°E와 N16°~75°W, N16°~25°E와 N60°~75°W 등 2~3개의 횡단하는 mast joint set의 존재들을 확인할 수 있다. 제주도 오등부근 표고 140~280m 지역에서 조면질 안산암에 나타나는 주상절리는 N16°~25° E, N65°~75°W의 cross pattern이 joint set의 발달을 나타낼 뿐 아니라 cleavage의 발달도 심하며

風化에 대한 저항성으로 垂直絶壁을 이루고 있다. 제주남국교 부근 현무암 분포지역에 N6°~14°E 87NW와 N16°~25°W 75°SW의 joint set의 서로 거리 간격이 넓어 균일한 spheroidal weathering을 유도하여 corestone을 형성하였다.

山地川 流域의 節理系 分析

山地川 流域에 발달한 節理系는 Fig. 3과 Tabel 1에서 보면 N26°~35°E가 11.54%, N6°~15°W와 N46°~55°W는 각각 9.62%이며, N16°~25°E, N56°~65°W, 46°~55°W는 각각 7.69%씩을 차지하고 있어 이들 級間이 전체의 52.85%나 된다.

여기서도 서로 cross되는 몇개의 joint set가 확인되는데 N26°~35°E와 N76°~85°W, N36°~45°W, N36°~45°W와 N46°~55°E의 set등에 가장 두드러진다.

제주중앙여고 부근지역 현무암과 火山碎屑層과 不整合의로 접촉하고 있는 풍화층 주변은 hand baerk 될 정도로 약한 상태를 보이며 cleavage의 발달이 심하고 절리계가 displacement되었음을 알 수 있다. 산지천 남수 각 부근 조면암에 나타나는 露頭로 N16°E, 90°와 N64°W 84°NE의 joint set를 보이고 있으며 cleavage의 발달이 심하며 주상절리 부분은 5~45cm 정도씩 끊어져 岩盤 崩壞의 위험이 있다.

研究地域 전체의 節理系 分析

以上에서 조사한 바와 같이 漢川, 屏門川, 山地川의 節理系 전체를 종합해보면 N16°~25°E가 25.2%, N6°~15°W, N46°~55°E, N26°~35°E로 각각 22.7%를 차지하고 있어 전체의 65.1%나 된다.

N16°~25°E와 N76°~85°W, N6°~15°W, N66°~75°E등은 서로 cross하는 대표적인 joint set 例이다. 이러한 절리계의 분포들은 Fig. 4의 rose diagram에 서로 그 특징이 잘 나타나 있다 (Fig. 4).

節理는 대개 平行한 group이나 set로 나타나며 서로 다른 joint set는 직각 또는 高角으로 교차하기도 하는데 이러한 現象들은 본 연구 지역에서도 잘 나타나고 있다. 한편 조사지역의 절리계와 河川流向과의 相關關係에서는 1.2次數

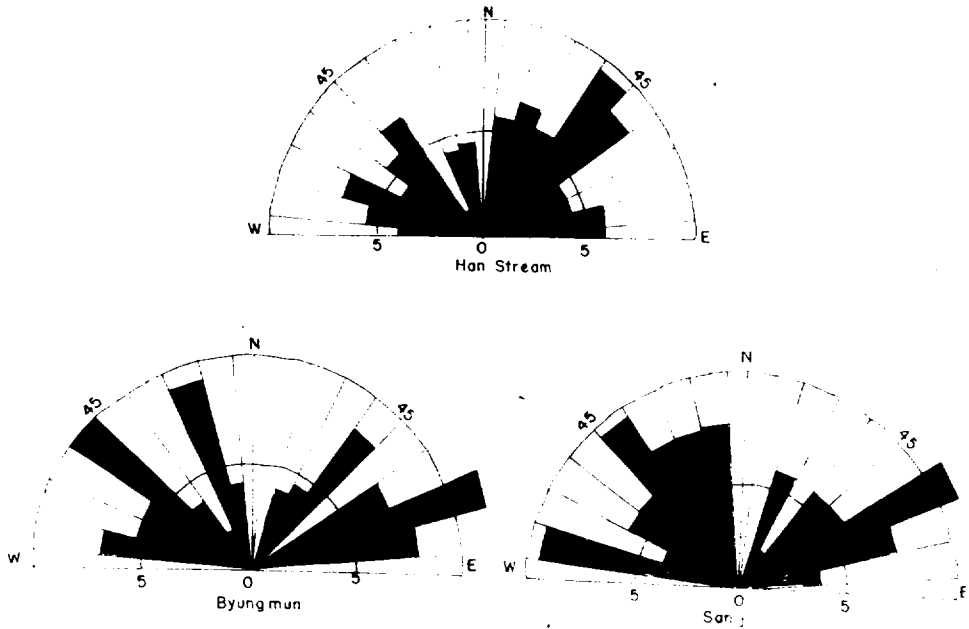


Fig. 4. Strike Rose Diagram (unit %)

하천과 같은 低位次數 하천은 0.50정도의 상관
을 보이고 있어 연구 지역의 하천은 절리계에
의하여 그流向의 지배를 받았음을 알수 있었다.
그러나 節理系와 3次 이상 河川 流向과의 관계
에서는 0.35이하의 매우 낮은 상관을 보여 이는
하천의 流向을 결정하는 요인이 1,2차수와 같은
저위차수 하천에는 절리계의 영향을, 3차이상의
高位次數 하천에서는 節理系보다 더욱 강한 地
質構造線의 영향을 받는다고 볼수 있다. 이처럼
지형 형성에 작용하는 절리계의 직접적인 영향
은 그리크지 않으나 節理는 직접적인 침식의 모
든 營力을 돕고 있어 지형에 대한 간접적인 영
향이 크다고 볼수 있다.

3. 河系網의 分析

河系網의 分析은 먼저 河川의 地形的 變化와
그 特色을 알아보기 위하여 지형 단면의 분석과
河系網의 패턴을 알아보기 위해서는 河系網圖를
작성하여 浸蝕과의 관계를 알아보았다. 하천의
차수와 하천의 수, 分地率 등을 계산하는데는
A. N. Strahler의 방법을 따라 1 : 50,000지형도
에서 하천을 tracing 하여 하천의 차수와 河系密度
를 구하였다.

漢川, 屏門川, 山地川의 河系網

河系網은 특정한 유역 분지내에서 하천의 本
流와 그보다 많은 支流가 合流하여 이루는 하천
의 網을 말한다. 河系網의 流域盆地內的 地質,
氣候, 植生 등의 영향을 매우 잘 반영하기 때문
에 일찍부터 연구대상이 되어왔으며 근래에는
하계망 자체에 어떤 法則性이 존재한다는 사실
이 밝혀져 다각적으로 연구가 시도되고 있다.
지표경관의 발달은 그 지역을 구성하고 있는 각
개의 小流域들에 발달하고 있는 지형변화의 總
和에 해당된다. 제주도과 같은 다우기후 환경에
서는 유수의 작용이 침식 지형에 큰 영향을 미
치기 때문에 火山地形의 하천에 의한 침식관계
를 연구하는 것은 의미있는 일이라고 생각한다.
Fig. 1은 漢川, 屏門川, 山地川의 河系網으로 전
체적으로 볼때 放射狀水系를 이루고 있다. 河系
網의 집중은 不透水層과의 관계가 깊은데 투수
율이 높은 표선리현무암층이 넓게 분포하고 있
는 한라산 동부와 서부지역은 하천의 발달이 빈
약하다. 특히 漢川流域에서가 복잡한 하계망 발
달을 보이며 海岸低地帶에 분포하는 반상. 휘석
현무암류가 분포하는 지역 보다 장석현무암과
조면질현무암이 교차하는 지역의 하계망의 밀도

가 높아 대체로 볼때 한천의 本流 부근에서는 하계망의 발달이 미약하고 支流쪽의 발달이 현저하다. 전체적인 경향은 NNE와 NNW방향이고 이러한 주향을 횡단하는 많은 지류들이 존재한다. 屏門川의 河系網은 Fig.1에서 알수 있듯이 한천과 마찬가지로 전체적으로 볼때 放射狀이나 부분적으로 直線狀의 河系網도 많다. 가장 현저한 발달을 보이는 小流域은 가다시 부근의 장석질현무암과 반상취석현무암의 不整合的으로 접촉하는 지역이다. 山地川의 河系網은 曲率도가 작아서 거의 直線的인 河系網을 나타내고 있다.

河川數의 分析

하천의 수는 각 河川次數別로 정리하여 計測하였다. R. E Horton (1945)에 의하여 명명된 分地率은 어떤 차수의 수와 이보다 한 단계 높은 次數의 數를 비율로 나타내는 개념이다. Strahler (1950)의 한 방법으로 漢川, 屏門川, 山地川 流域의 河川數를 次數別로 정리하면 Fig. 5와 같다.

分岐率을 각 하천별로 구분하여 計測한 결과는 Table. 2와 같다. 漢川의 河川次數는 5차까지 나타나며 1차하천은 22개, 2차하천은 7개, 3차하천은 4개, 4차하천은 2개, 5차하천은 1개로 각각 나타나고 있다. 屏門川의 河川數는 1차 6개, 2차 4개, 3차 1개로 나타난다. 山地川의 경우는 1차 3개, 2차 1개로 나타나고 있다.

Table 2. Stream Number and Bifurcation Ratio.

Stream Number	Han Cheun		Byunmun		Sanji	
	Number	Rb	Number	Rb	Number	Rb
1	22		6		3	
2	7	3.14	4	1.5	1	3.0
3	4	1.75	1	4.0		
4	2	2.0				
5	1	2.0				
Average		2.22		2.75		3.0

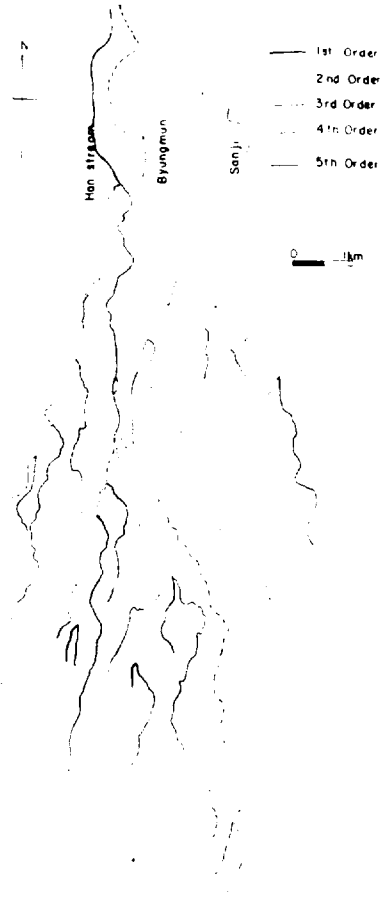


Fig. 5. Stream order of Byungmun, Sanji and Han stream.

河川數의 법칙에 따르면 次數가 높아짐에 따라 증가하는 하천의 수효는 3의 n배수가 가장 이상적이라고 하나 본 지역에서는 이러한 이론이 정확하게 들어맞지 않는다. 分岐率의 경우 漢川水系의 Rb는 Table 2에서 보여주는 바와 같이 2.22이며 屏門川은 2.75, 山地川은 3.0을 나타내고 있어 山地川이 가장 큰 分岐率을 보이고 있으며 연구지역 전체의 평균은 2.66이다. 이러한 분지율의 의미는 연구된 우리나라 타 하천들과 비교하면 洛東江水系의 Rb는 약 4.75, 錦江은 3.36, 北漢江水系는 약 6.70으로 나타나고 있어(정창호 1974), 漢川, 屏門川, 山地川의 Rb보다 모두 높음을 알수 있다. 이는 제주시 3대

하천이 이들 하천보다 急斜面을 흐르고 있음을 의미하며 또한 分岐率이 작다는 것은 이들 河川보다 浸蝕의 진행기간이 짧다는 것을 의미한다. 어떤 하천 차수의 하천 평균 길이와 그보다 한 단계 낮은 하천차수의 하천 평균 길이의 比率을 하천의 길이 比率이라고 한다. Table3은 漢川, 屏門川, 山地川의 하천 차수별로 평균 하천 길이와 길이 比率을 정리한 것이다.

한천의 전체 평균은 0.83, 병문천은 1.36, 산지천은 1.64로 나타나고 있어 流域別로 전체적인 경향을 알수 있다. 일반적으로 하천의 길이 비율(RL)은 상류이거나 河系網의 발달이 완전치 못한 곳에서는 그 比率이 낮은 값을 나타낸다. 따라서 조사지역의 평균 RL이 1.28로 낮은 값을 보여 하천 발달이 上流에서 충분하지 못함을 나타낸다.

Table 3. Stream Length and Length Ratio.

Stream RL	Han Cheun		Byunmun		Sanji	
	Stream No	Total Len-Ra	Total	Len-Ra	Total	Len-Ra
1	39.2	0.19	6.25	2.28	4.75	1.64
2	7.5		14.25	0.44	7.8	
3	8.8	1.17	6.3	1.21	0.76	
4	10.65	1.21				
5	8.1	0.76				
Average		0.83		1.36		1.64

河系密度

河系の 密度는 지형의 浸蝕進行程度에 따라 달라지며 그 대소는 起伏量과 傾斜에 따라 지배된다. 이러한 하계밀도를 계산하는 방법은 Noymann은 유역내에 있는 本支流의 총연장 L, 면적을 A라 할 때 L/A를 하계밀도라 하였다. 그 값은 물의 滲透가 용이한 지역에서는 작고 불투수성의 지역에서는 크며 高地에서는 低地보다 작고, 傾斜地에서는 특히 작다고 하였다. 본 연구지역내에서 하계밀도의 분포를 알기

위해 지형도를 각 1km의 方眼으로 나누어 각 방안의 사변이 절단하는 골짜기의 총수를 그 방안의 하계밀도로 계산하여 그값의 분포를 작성하였다. Fig.6은 한천, 병문천, 산지천의 河系密度圖이다. 여기서는 5단계로 구분하여 하계밀도를 정리하였다.

漢川流域에서 가장 큰 密度를 보이는 곳은 列雁地와 거문오름 부근 장석질현무암과 분석구피적층이 분포하여 小支流들이 합류되는 지역이며, 가장 낮은 밀도를 보이는 지역은 반상휘석현무암, 장석질현무암, 분석구피적층등이 混在되어 있는 지역이다.

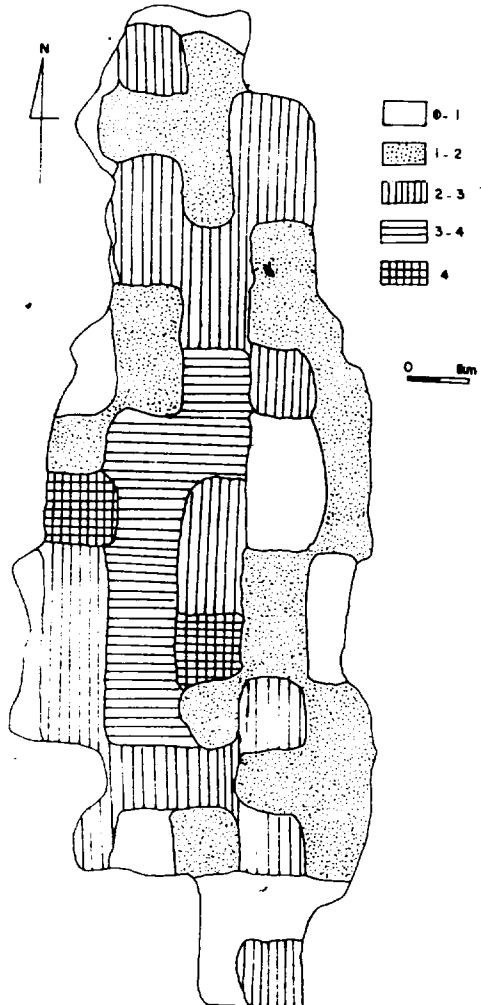


Fig. 6. Drainage density map of the 3 stream in Cheju city

屏門川의 경우 가장 큰 密度分布 지역은 장석질현무암이 분포하는 곳이며, 가장 낮은 밀도를 보이는 곳은 조면질안산암과 반상회석-장석현무암 및 분석구퇴적층이 混在되어 분포하는 곳이다.

山地川의 경우는 좀 특이하게 비현정질현무암과 반상회석현무암이 不整合으로 混在하는 곳에 큰 密度分布를 보인다. 이러한 河系密度의 차이를 가져오는 데는 여러가지 요인이 있겠으나 그중 가장 중요한 것은 基盤岩의 특성이다. 기반암이 硬岩인 경우와 투수율이 높은 경우는 일반적으로 저밀도의 하계가 형성되고 기반암이 軟岩이거나 투수율이 낮으면 고밀도의 하계를 형성한다.

본 연구지역의 河系網은 지표의 傾斜, 火山岩類의 硬軟, 地質構造 등 여러가지 지질 요소를 잘 반영하고 있어, 연구지역 전체적으로 볼때는 放射狀이나 부분적으로 많은 직선상의 하계망이 나타나기도 한다. 또한 연구지역의 하계망은 경사가 급하고 절리계가 잘 발달되어 있으며 기반암이 많이 노출되어 있는 경우에는 주변지역보다 매우 조밀하게 나타난다.

4. 傾斜의 分析

研究 地域內의 경사 분포를 計測하는 방법은 한 測定方向線에 대해 2cm이 方眼을 설정하고 각 교점을 측정의 중심으로 하여 직경 1cm의 원을 그려 원내에 포함하는 81개의 지점에서 등고선의 數로서 경사를 구하였다.

漢川流域의 傾斜分布

斜면의 傾斜는 河系網의 발달과 매우 밀접한 관계가 있다. 한천유역의 경사분포는 Fig7에 잘 나타나 있으며 Table 4에서는 5°간격씩 級間을 정하여 정리하였다. 가장높은 경사도 (19°~23°)를 보이는 小流域은 한라산 북측벽 표고 약 1,800m의 陵線部 지역으로 연구지역의 남쪽 경계 부근에 해당하며 조면암류 지역에서의 斜面傾斜가 가장 급한 것으로 나타나고 있다. 가장 완만한 경사분포를 보이는 한천 主流와 큰支流를 중심으로 하는 海岸低地帶 地域들이다.

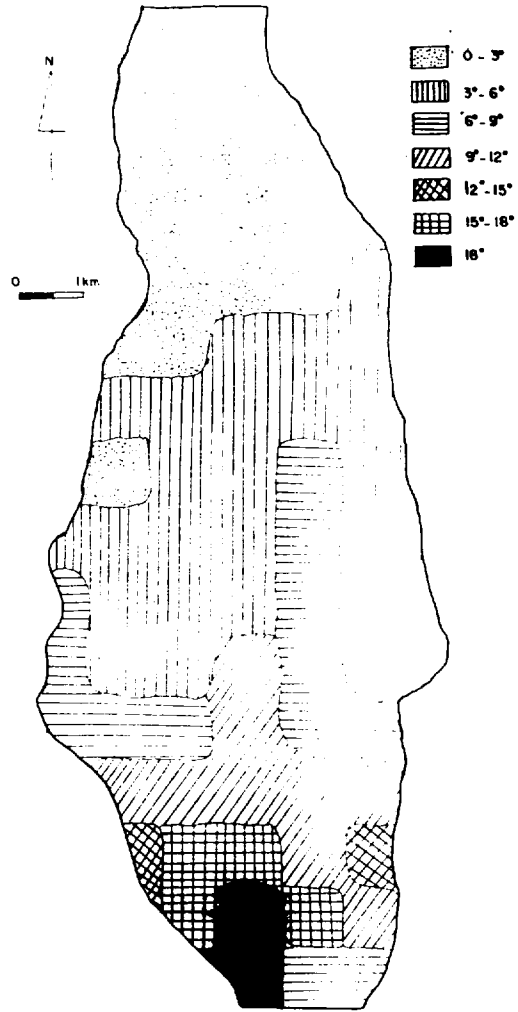


Fig. 7. Slope angle distribution of the 3 stream in Cheju city

Table4에서 볼수 있듯이 0°~3°사이는 25.71%, 3°~6°사이는 34.3%, 6°~9°사이는 5.71%로 이 3級間의 차지하는 비중이 65.71%이며 15°이하를 합하면 85.7%나 되고 18°이상이 높은 경사 지역은 전체의 5.7%정도이다. 이는 낮은 저지대와 중산간지대가 우세하게 발달되어 있는 지형임을 의미하는 것이다. 漢川지역의 경사분포의 대체적인 경향을 南北으로 구분해 볼때 南쪽이 北쪽보다 높은 경향을 보이고 높은 경사의 분포는 조면암류의 분포지역이 타 火山암류의 분포지역보다 우세하다.

屏門川流域의 傾斜 分布

屏門川流域의 傾斜分布는 Fig7에 잘 나타나 있으며 Table4에서는 漢川地域에서와 마찬가지로 5°간격씩 級間을 정하여 정리하였다. 가장 높은 경사도 (14°~15°)를 보이는 小流域은 장석질현무암과 조면질안산암류가 混在하는 개미목 동북측 표고 약 1,600m 山陵 부근이다.

가장 완만한 傾斜分布를 보이는 곳은 屏門川

主流와 큰 支流를 중심으로 하는 兩岸과 海岸低地帶 지역들이다. 0°~3°사이는 33.3%, 3°~6°사이는 37.5%, 6°~9°사이는 16.6%, 로 3급간이 차지하는 비중이 87.4%나 되며 12°이상의 경사각을 나타내는 지역은 전체의 4.17%정도로 매우 미약하다. 이는 병문천유역도 한천유역과 마찬가지로 낮은 해안저지성 내지 丘陵性 중산간지대가 우세함을 말해주는 것이다.

Table 4. Slope Distribution of the Byungmun, Sanji, Han Stream Basin.

Angle stream	0 ~ 3	3 ~ 6	6 ~ 9	9 ~ 12	12 ~ 15	15 ~ 18	18 over
Hancheun	25.71	34.29	5.71	17.14	2.86	8.57	5.71
Byungmun	33.33	37.5	16.66	8.33	4.17		
Sanji	46.67	53.33					
Average	35.24	41.71	11.19	12.24	3.57	8.57	5.71

山地川流域의 傾斜 分布

山地川流域의 傾斜分布는 上記 2河川과 함께 Fig 7에 잘 나타나 있으며 Table 4에는 5° 간격씩 級間을 정하여 정리하였다. 높은 경사도 (3°~6°)를 보이는 小流域은 삼의양오름 부근 표고 약 570m 산능부 지역으로 장석질현무암과 비현정질현무암 및 반상휘석현무암이 混在하는 지역이다. 완만한 경사분포지역은 主流가 길게 연속되는 低地性 및 丘陵性 지대로 되어있다.

山地川의 傾斜 分布의 대체적인 傾斜를 남북으로 구분해 볼때 남쪽이 북쪽보다 높은 경향을 보이고 분석구되적층 분포지역이 타 岩石의 분포지역보다 우세하다.

상기에서 연구된 바와 같이 연구지역 전체의 경사에 근거한 지형구분은 경사도 약 5° 이하의 매우 완만한 해안저지대, 10° 이하의 평탄한 중산간 완사면지대 15°이상이 다소 경사가 급한 산악경사면지대, 20° 이상의 산지 급경사면을 이루는 고산지대로 구분할 수 있다. 지형 형태로 보면 표고 500m까지는 비교적 완만한 楕狀火山體를 형성하는데 비하여 500~1,800m까지는 비교적 경사가 급한 圓錐火山體를 형성하고 있

으며 1,800m에서 정상까지는 鍾狀火山體를 형성하고 있어서 섬전체가 山地를 나타내고 있다.

5. 起伏量의 分析

起伏의 量은 지형의 특성을 나타내는 중요한 지표가 된다. 즉 기록의 量은 지형의 開折정도를 표시하는 한 방법이며 경우에 따라서는 경사의 크기를 나타내기도 한다. 따라서 기록량의 측정은 지형의 분류나 지역구분에서 중요한 의미를 갖는다. 起伏量의 측정은 지형도를 실제거리 2km의 方眼으로 나누어 각 方眼중의 최고점과 최저점과의 고도차를 구하였다.

漢川流域의 起伏量

漢川流域의 起伏量圖는 Fig.8에 잘 나타나 있다.

Table 5는 漢川, 屏門川, 山地川의 起伏量의 분포를 나타낸 것이다.

漢川의 起伏量은 0~450m 정도까지의 분포를 보이며 기록량의 집중경향은 250m까지가 81.4%나 차지하고 있어 전체의 많은 부분을 차지한다. 특히 400m 이상의 기록량을 갖는 지역은 4

%미만으로 유역전체에서 차지하는 비중은 그리 크지 않다.

암석별 분포는 Fig. 8에 의하면 조면암 및 조면질안산암 분포지역이 현무암류의 경우보다 기복량의 높은 高度쪽으로 분포하고 있다. 전체적으로 볼때 한천유역에서 기복량이 400m이상으로 크게 나타나는 지역은 조면암류와 山陵에 장식질현무암이 분포하는 지역이다.

屏門川流域의 起伏量

屏門川의 起伏量은 漢川보다 分散度가 작은 傾向이다. 0~250m까지 분포를 보이고 있다. 기복량의 집중 경향은 0~150m까지가 89.3%나 차지하고 있어 전체의 대부분에 해당된다. 특히 200m 이상의 기복량을 갖는 지역은 10.7% 미만으로 유역전체에서 차지하는 비중이 크지 않다. 屏門川流域의 起伏量이 대체적인 분포를 Table 4에서 보면 0~50m와 50~100m와 50~100m 사이에서 전체의 71%나 차지하고 있다.

岩石別 분포에서는 조면질안산암과 장식질현무암이 不整合으로 접촉하는 지역이 기복량이 250m로 크게 나타난다.

山地川流域의 起伏量

山地川流域에서 볼수 있는 起伏量圖는 Fig 8에 잘 나타나 있다. Table 4에서 山地川의 小流域別로 기복량의 분포를 보면 0~250m정도까지 분포를 보이며 기복량의 집중경향은 0~100m까

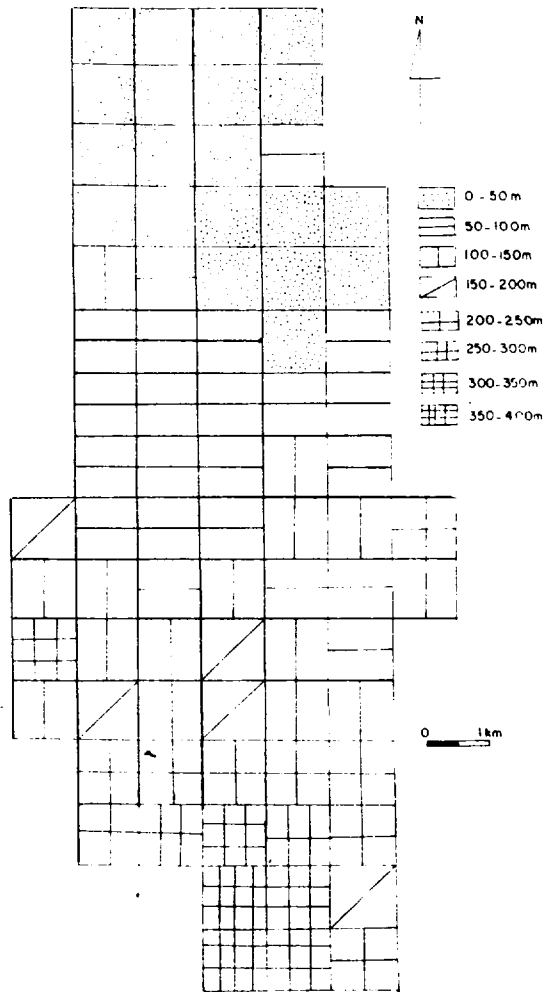


Fig. 8. Local relief map of the 3 stream in Cheju city

Table 5. Distribution of the Local Relief in the Byungmun, Sanji and Han Stream

Height stream	0 ~ 50	50~100	100~150	200~250	250~300	300~350	400~450
Hancheun	11.63	28.58	20.93	9.30	10.95	4.65	4.65
Byungmun	28.57	42.86	17.86		10.71		
Sanji	62.5	18.75	12.5		6.25		
Average	34.23	29.06	7.10	9.30	10.30	4.65	4.65

지가 81.2%나 나타나고 있어 한천의 경우와는 대조적이다. 이러한 현상은 산지천 유역의 기복량분포가 한천유역보다는 작다는 것을 의미한다. 200m이상의 기복량을 갖는 비중은 6%미만이다. 山地川流域에서 암석별로 나타나는 기복량의 분포를 볼때 臺地狀의 현무암류로 되어있는 지역에서는 기복량이 제일 작고, 조면질안산암과 분석구퇴적층 분포지역의 기복량이 큰 것을 알수 있다.

따라서 상기 연구지역 전체의 기복량의 분포를 살펴보면 0~50m 사이에 34.23%, 5~100m 사이에 29.06%, 100~150m 사이에 17.1%로 3급간이 전체의 80.4%를 차지하고 있다.

암석별로 나타나는 기복량의 분포는 조면암 및 조면질안산암 분포지역의 400~450m로 현무암류의 경우보다 기복량의 높은 高度쪽으로 분포하고 있다.

전체적으로 볼때 조사지역의 기복량은 0~100m 사이가 63%나 차지하는 기복이 작은 지역이 넓은 범위에 걸쳐 분포하는 경향을 보이는데, 이는 비슷한 특색을 갖는 지형이 본 연구지역에 넓게 분포하고 있음을 나타내며, 浸蝕이전의 原地形이 開石되지 않은 상태로 많이 남아 있음을 보여주는 것이다.

結 論

1. 山系는 漢拏山을 경계로 하는 北低南高形의 쉘드화산체를 이루며, 하천분포지역은 한라산의 北壁, 轟轟은오름, 어승생, 列雁地, 개미목, 노루생이, 거문오름, 남조순오름, 민오름, 들위오름, 삼의양오름 등이 웅립하고 있어 河川의 發源이 되는 分水嶺이 되고있다.

2. 水系는 지세가 한라산을 정상으로 하여 圓錐狀을 이루고 있어 放射狀水系를 나타내며 하천의 河道를 결정짓는 요소로서는 火山裂谷, 熔岩窟의 崩壞, 유수의 浸蝕作用 및 地下水의 流路 방향 등이다.

3. 漢川은 한라산의 北壁과 轟轟은오름, 標高 약 1,390~1,600m 부근의 山陵을 發源地로 하여 약 16.8°의 기울기로 北行하여 龍淵과 같은 특징있는 경관을 형성한 하천主流의 길이가 약 15.6km인 하천이며, 屏門川은 개미목 동북측 山陵과 土赤岳 표고 약 1,390m 부근에서 發源하여

약 16.2°의 기울기로 북동행하여 바다로 유입되는 본 流路의 길이가 14.7km인 하천이며, 山地川은 제주시 남쪽의 삼의양오름과 서삼봉사이의 山陵附近 표고 약 570m 지점에서 발원하여 산지포구까지 이어지는 流路 약 10.3km인 하천이다.

4. 河川 분포지역의 지질은 신생대 제4기 초에 분출유출한 침상장석-감람석 현무암, 반상휘석-장석 현무암, 비현정질 현무암, 장석질 현무암, 조면암, 조면질 안산암 및 분석구 퇴적물 등으로 구성되어 있다.

5. 節理는 河系網의 形態決定과 지각의 어떤 斷裂상태를 잘 반영하는 지표가 되는데, 漢川, 屏門川, 山地川의 節理系는 N16°~25°E가 25.2%이고 N6°~15°W, N46°~55°E, N26°~35°E도 각각 22.7%를 차지하며 전체의 65.1%나 된다.

6. 漢川, 屏門川, 山地川의 節理系와 河川流向과의 相關關係에서는 1,2차수하천과 같은 低位次數 하천은 0.50정도의 상관을 보이고 있어 이들 하천은 절리계에 의하여 그 流向의 지배를 받았음을 알수 있었다.

7. 漢川, 屏門川, 山地川의 河系網은 전체적으로 볼때는 放射狀水系를 이루고 있으나 부분적으로는 直線狀의 하계망도 많다. 하천의 차수는 한천은 5차류, 병문천은 3차류, 산지천은 2차류로 나타나며, 分岐率은 한천은 2.22, 병문천은 2.75, 산지천은 3.0으로 모두다 작은 값을 나타내고 있어 河川浸蝕의 진행기간이 짧다는 것을 의미하며, 하천길이의 비율은 한천은 0.83, 병문천은 1.36, 산지천은 1.64로 낮은 값을 나타나 河系網의 발달이 완전하지 못함을 의미한다. 河系密度는 漢川流域의 山地川이나 屏門川流域보다 크며 하천유역 基盤岩이 조면암과 같은 硬岩과 透水率이 높은 분석구 지역에는 저밀도의 하계가 형성되었다.

8. 본 연구 지역은 傾斜程度에 따른 지형구분은 경사도 약 5° 이하의 매우 완만한 海岸低地帶, 10° 이하의 평탄한 중산간 緩斜面地帶, 15° 이상의 다소 경사가 급한 山岳傾斜面地帶, 20° 이상의 山地急斜面을 이루는 高山地帶로 구분할 수 있다.

9. 起伏量의 분포는 漢川流域이 屏門川流域이나 山地川流域보다 크며 岩石別로는 조면암류지역이 玄武岩流 분포지역보다 큰 起伏을 보인다.

또한 起伏量의 0~100m 사이가 63%나 차지하

여 이는 起伏이 낮은 지역과 비슷한 특색을 갖는 地形이 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있음을 나타낸다.

參 考 文 獻

- 金鳳均. 1969, 제주도 신양리 및 고산리 지구의 신양리층에 대한 층서 및 고생물학적 연구, 지질학회지 5권 (pp 103~122)
- 金玉準의 3인. 1965, 제주도 지하수 탐사 지질 조사 보고서, 건설부 (pp 1~38)
- 金相旻. 1963, 제주도의 자연지리, 대한지리학회지 1권 (pp 2~147)
- 김동학. 1986, 제주도 화산활동연구, 과거처 KR-86(B)-4 (PP 1~54)
- 金周換. 1982, Joint와 화강암 풍화와의 관계고찰, 동국지리 제3호 (pp 1~17)
- 金周換. 1973, Joint와 하천유향과의 관계고찰 지리학회 연구창간호 (PP 25~63)
- 金周換. 1978, Joint현상의 분석과 D-D Dingarm 개발에 관한 연구, 지리학회지 17호 (PP 25~63)
- 박승필. 1985, 제주도 측화산에 관한 연구, 전남대 논문 제13권 (PP 1~54)
- 원종관. 1975, 제주도 형성과정과 화산활동에 관한 연구, 건국대 이학 논집 제1집 (pp 1~48)
- 윤상규. 1987, 제주도 남부 지역의 제4기 지질 조사 연구, 과학기술처 KR-86-2-(B)-2 (P 64)
- Blanchet, P.H. 1957, Development of Fracture and analysis as Exporation method, Bull. Amer. Assoc. petro. Geol. V. 41 p 1748~1759
- Billings, M.P. 1960, Structural Geology, 2d New York Pretic Hall p 106~123
- Badgley, P.C. 1965, Structural and Tectonic Principles, A Harper Interncitional Print p 98~156
- Cloose, E.M. 1955, Experimental Analysis of Fracture Pattern, Bull. Geol. Soc. America V. 66 p 241~256
- Chapman, C.A. 1952, A new Quantitative method of Topographic analysis, Maine Amer. Jour. Soc V. 256 p 11~127
- Horton, R.E. 1945, Erosional Developement of Stream and theri Drainage Basins, Bull. Geol. Soc Amer. V. 56 p 275~370
- Lee moon Won 1982, Petrology and Geochemistry of Jeju Volcanic Island Koreasie Reporrts Tohoku Unic serise III p 177~256
- Pratt, W.E. 1961, Large-scale Polygonal Jointing, Bull. Amer. Assoc. Petro. Geol V. 45 p 2249~2251
- Strahle, A.N. 1950, Equilibrium theory of Erosional Slope approach by Frequency-Distribution analysis, Amer. Jour. Soc V. 248 p 673~696
- Strahle, A.N. 1956, Quantitative Slope Analysis, Bull. Geol. Amer. V. 67 p 571~596
- Strahle, A.N. 1957, Quantitative Amalysis of Watershed Geomorphology, Amer. Geophy. Union V. 38 p 913~920