

## 중문천 일대의 지형 및 지질학적 특징

전 용 문

세계자연유산관리단

### I. 연구배경

#### 1. 지질연구 배경

제주도는 우리나라에서 가장 젊은 화산섬으로 신생대 제4기 약 180만년 전부터 발생한 화산활동에 의해 형성된 섬이다. 제주도 전역에서 이루어진 시추자료에 따르면 제주도의 지하는 최하부에 기반암이 분포하고, 그 상부에 U층과 서귀포층 그리고 용암류가 피복하는 형태로 구성되어 있다(고기원, 1997; 박기화 외, 2000a; 박기화 외., 2000b). 제주도의 기반암은 중생대 및 신생대 제3기 화강암류와 화산암류로 구성되어 있으며, 기반암의 상

부에는 모래와 진흙으로 구성된 미고결 퇴적층인 U층이 분포한다. U층의 상부에는 현무암질 화산쇄설물과 해양생물의 화석을 포함한 서귀포층이 분포하고 있는데 서귀포층은 U층이 쌓이던 천해 대륙붕 환경에서 수성화산활동의 직·간접적인 결과에 의해 형성되었다(Sohn et al., 2008; Sohn and Yoon, 2010). 한편, 서귀포층의 상부에는 현무암질에서 조면암질에 이르는 다양한 조성의 용암류가 덮혀있다. 용암류가 분출하는 동안 해수면의 높이는 빙하기와 간빙기에 따라 지속적으로 변해왔으며, 해수면이 높아진 시기에 분출한 용암은 물속으로 들어가 베게용암을 만들기도 하고 해안가 과식대지를 만들기도 하였다. 이러한 해수면 변동을 거치면서 제주도는 육지와 연결되기도 하였고 지금처럼 섬으로 존재하기도 하였다. 그리고 약 3~5천년전 해안가 일대에 수성화산활동이 발생하여 성산일출봉과 송악산 등이 형성되었으며, 이후 역사시대(약 천년전) 분출을 끝으로 제주도의 화산활동이 종료되었다.

## 2. 지형연구 배경

제주도의 수계, 산계 및 해안 지형은 화산의 활동시기 및 활동양상과 관련되어 다양한 특징을 나타내고 있다. 제주도의 하천은 용암이 만든 지형 경사와 밀접한 관계가 있는데, 경사가 완만한 한라산 동-서 사면으로는 넓은 용암대지가 발달하여 수계의 발달이 빈약하고, 주로 지형기복이 큰 제주시와 서귀포시를 중심으로 집중적으로 발달하고 있다(그림 1).

현재까지 제주도에는 총연장 821.19km에 이르는 60개의 지방 2급 하천과 83개의 소하천이 있는 것으로 조사되어 있다(김미령, 2003). 제주도의 하천은 오랜기간 침식과 퇴적에 의해 굽이치는 육지의 하천과 달리 주로 직선이며 하천의 곡률도는 1.5 이하로서 남쪽으로 흐르는 하천의 곡률도는 1.22, 북쪽으로 흐르는 하천은 1.17로 제주시 방향으로 발달한 하천이 거의 직선상을 보이고 있다(김미령, 2003). 제주도의 하천 지형은 V자형의 깊은 계곡 형태를 보이고 있는데, 이는 유년기 하곡지형의 특색을 잘 보여주고 있다. 또한 제주도의 하천은 대부분 건천의 형태를 보이고 있으며, 우기시에는 유량이 급격히 증가하여 범람하는 현상이 발생하기도 한다. 제주도 하천의 발달방향은 한라산을 기준으로 북쪽과 남쪽으로 주로 발달하고 있는데 특히, 서귀포 지역의 하천은 중산간 고지대에서 해안으로 연결되며 해안 저지대에서 계곡의 폭이 넓어지고 깊이가 얕아지는 경향을 보인다. 서귀포 지역의 하천은 상류에서는 건천이지만 하류로 가면서 다량의 용천수 유출에 의해 수량이 증가하는 경향을 보인다.

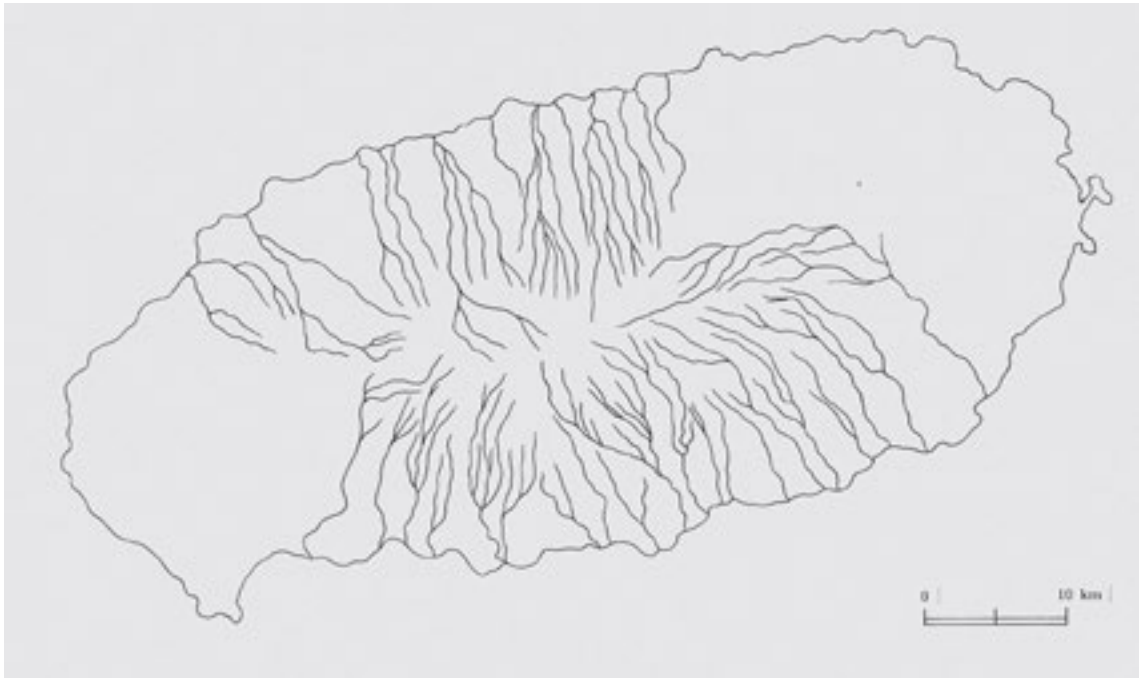


그림 1. 한라산을 중심으로 방사상으로 분포하는 제주도의 하계망. 지형기복이 큰 제주시와 서귀포시를 중심으로 하천이 분포하고 있다.

## II. 연구목적

본 연구는 서귀포시 중문천 일대를 대상으로 지형 및 지질에 대한 조사를 수행하였다. 중문천 일대는 지금까지 지형 및 지질조사가 거의 이루어지지 않은 지역으로 이번 조사를 통해 중문천 일대의 지질과 지형에 대한 개요를 파악하고자 하였다.

또한 이번 조사를 통해 중문천 일대의 용암류의 특징과 형성과정을 살펴보고 지금까지 알려지지 않았던 중문천의 독특한 용암류의 특징과 구조에 대해서도 살펴보고자 한다.

그리고 독특한 지형들이 발달한 중문천의 다양한 지형 및 지질학적 특징을 보고하고 그 원인을 찾아보고자 하였다.

### Ⅲ. 연구결과: 중문천 일대의 지형

#### 1. 지형분석 및 결과

서귀포시 중문지역에 발달하는 하천은 크게 중문천, 강청천, 약근천 등이 있으며, 지역에 따라 부르는 명칭이 달라지기도 한다. 이들 하천은 공통적으로 한라산 남쪽에서 발원하여 깊은 계곡을 이루고 있으며 남쪽해안으로 흘러가고 있다. 또한 이들 하천은 단일 하천으로 발달하기보다는 주변 오름에서 발원한 지류들이 합쳐지면서 큰 하천으로 변해가는 양상을 보이고 있다(그림 2).

중문천은 서귀포시 중문동을 관통해 흐르는 주요 하천으로, 한라산의 남서쪽 녹하지악(鹿下旨岳) 인근에서 발원하여 천제연폭포를 거쳐 바다로 흘러가는 하천이다. 중문천의 총 길이는 12km이며, 하천법 상으로 지방 2급, 4차수 하천으로 분류되어 있다. 김미령(2003)의 연구에 따르면 중문천은 평균 분기율이 2.33, 길이비율이 1.26으로 제주도 하천의 평균 분기율 2.33~5.77에 비해 낮은 편이며, 침식이 활발하게 일어나지 않은 결과로 해석한 바 있다.

그림 2의 지형분석 자료에 따르면 중문천을 비롯한 서귀포지역 일대의 강정천과 약근천은 한라산 남쪽 산록의 급경사로 인해 대부분 직선에 가까운 직류하천을 이루고 있다. 특히 중문천의 굴곡도는 1.1~1.2에 불과하여 1.5 이상의 굴곡도를 지닌 육지의 총적평야에 발달한 사행하천과는 형태적으로 큰 차이를 보인다. 3차원 지형도상 중문천 일대는 상류로 가면서 왼쪽으로는 색달천, 오른쪽으로는 중문천으로 분기되는 양상을 보인다(그림 2). 색달천의 경우 분기점에서 약 5km에 걸쳐 상류로 연장되면서 돌오름 일대로 이어지고 있으며, 중문천은 녹하지악에서 상류방향으로 민머루오름 일대까지 약 2.5km에 걸쳐 이어져 있다.

요약하면 중문천은 상류 중문천과 색달천이 하나로 합쳐져 해안까지 이어지는 하천을 말한다. 전체적으로 중문천의 상류는 계곡의 깊이가 얕고 하천의 곡률도는 높은 경향을 보이지만 하류방향으로는 계곡이 깊고 직선형이며 하천의 발달이 뚜렷한 경향을 보인다(그림 2).

지형 분석결과에 따르면 중문천은 지금까지 녹하지악 일대에서 발원한다는 기존 자료와 달리 민머루오름 일대에서 분기된 지류와 돌오름 일대에서 분기된 지류가 합쳐지면서 깊은 계곡이 발달한 중문천을 형성하여 해안까지 이르는 것으로 해석할 수 있다(그림 2). 또한 색달천도 중문천으로 합쳐져 해안에 이르는 것으로 파악되었다. 그리고 깊은 계곡이 발달한 특징은 구조적인 단층운동에 의한 결과라기보다는 지속적인 하천의 점차 침식



작용을 거치면서 깊은 계곡지형을 만든 것으로 해석된다. 이와같이 침식에 의해 깊은 계곡이 발달하는 것이 제주도 하천의 공통적인 특징이다.

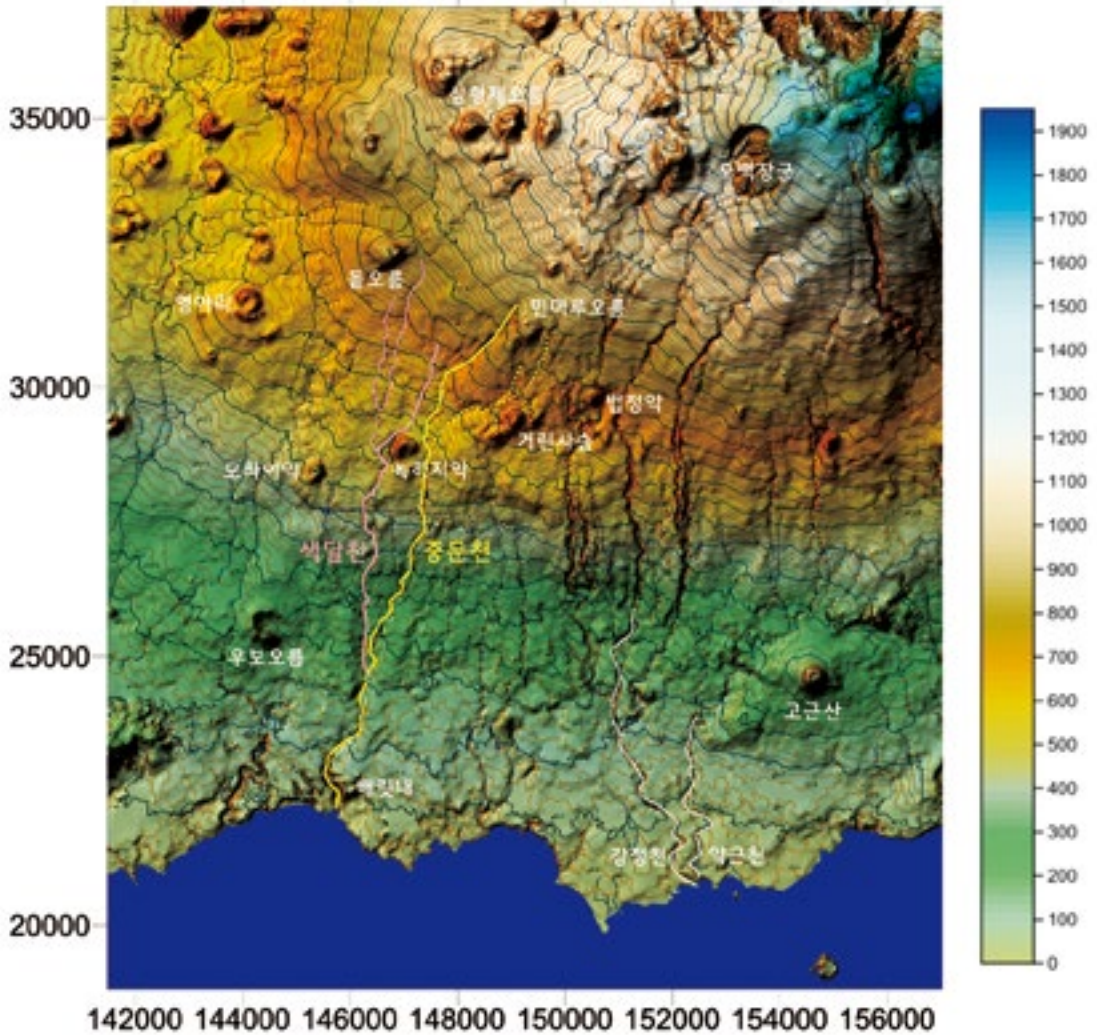


그림 2. 제주도 남부지역 일대의 3차원 광역지형도. 중문천의 상류는 민머루오름 양쪽에서 발원한 지류들이 북하지막 인근에서 합쳐져 중문천이 되었다. 중문천 및 강정천과 약근천도 모두 한라산 남쪽에서 발원하여 남쪽으로 흘러가고 있으며, 깊은 계곡이 발달한 하천 모양을 보이고 있다.

## IV. 지질학적 연구배경

### 1. 지질개요

중문천을 중심으로 한 중문동 일대에는 용암류가 넓게 분포하고 있는데, 이 용암류는 이 문원(1994)에 의해 '녹하지악 휘석현무암'으로 명명되었으며, 박기와 외(2000)의 지질도 폭(1:50,000)에서는 '대포동조면현무암'으로 명명되어 있다. 또한, 고정선 외(2005)는 대포동 일원의 암석에 대한 주성분 화학분석 결과에 근거하여 '대포동현무암'으로 명명하기도 하였다. 이와같은 명칭의 차이는 암석의 야외 관찰 결과에 의해 명명한 경우와 화학분석 결과를 이용한 명명법에 따른 차이에서 비롯된 것이다.

중문천 일대를 대표하는 암석은 중문동 해안을 따라 약 3.5 km에 걸쳐 분포하는 대포동현무암이다(그림 3). 대포동현무암은 두꺼운 용암류로서 상부에는 적색을 띠며 거친 표면의 클링커(dinker)가 나타나는 것이 일반적인 특징이다(그림 3). 특히, 대포동현무암은 해안가 지샓개 부근에서는 주상절리가 잘 발달되어 있으며 녹하지악 분석구에서 분출한 것으로 추정하고 있다(고정선 외, 2005). 대포동현무암의 형성시기는 현무암의 방사성동위원소인 K-Ar의 전암 연대 측정결과 약 25만년전에 형성된 것으로 조사되었다. 한편, 대포동현무암보다 먼저 형성된 것으로 알려진 한라산조면암은 중문천의 최상류 구간에



그림 3. 연구지역 중문 일대의 지질도

분포하고 있으며, 법정동 조면현무암이 중문천의 상류 구간 일부에 분포하는 것으로 조사되어 있다. 한라산조면암은 백록담 분화구의 서쪽 및 영실기암, 그리고 백록담의 북쪽

과 남쪽에 넓게 분포하고 있으며, 돛상으로 솟아있는 백록담 분화구를 이루는 주요 암석으로 알려져 있다(박기화 외, 2000). 범정동 조면현무암은 한라산 전체에 광범위하게 분포하는 암석으로 윗세누운오름(1,714m)과 윗세죽은오름(1,690m)에서 분출하여 한라산 조면암을 비롯한 1100도로 주변일대까지지를 덮고 있는 용암류를 말한다. 그리고 중문천 일대에는 녹하지악, 거린사슴, 베릿내오름 등의 분석구들도 소규모로 분포하고 있다.

## 2. 기존 지질연구의 문제점과 연구내용

기존 연구결과를 보면 중문천 일대를 구성하는 대포동현무암은 녹하지악에서 분출한 용암류에 의해 형성된 것으로 알려져 있다. 그러나 녹하지악 분석구의 규모는 방대한 양의 용암을 분출한 근원지로 보기에 작은 편에 속한다. 분석구의 크기와 용암류의 분출량에 대한 기존 연구결과에 비추어 보면 분화구의 크기는 용암의 유출량과도 어느정도 비례하는데, 녹하지악이 중문천 일대를 뒤덮은 엄청난 양의 용암의 공급지였는가에 대해서는 의문의 여지가 있다. 또한 녹하지악 분석구의 방향이 남쪽을 향해 터져있는 말발굽 형태를 보이고 있는데, 실제 중문천을 구성한 용암류가 그곳에서 분출되었다면 중문천의 상류와 하류의 암석은 각각 다른 종류의 암석으로 구성되어 있어야 하는데, 이 부분에 대해서도 검토해 보고자 하였다.

중문천 및 지삿개 주상절리대를 이루는 암석은 두께가 두껍고 상하부에 클링커가 발달한 아아용암류의 특징을 보이고 있다. 아아용암류는 점성이 높아 넓은 지역을 피복하기 어려운 특성을 지니고 있다. 그러나 아아용암류로 대표되는 대포동현무암은 일반적인 아아용암류의 분포보다 훨씬 더 광범위한 범위를 덮고 있다. 따라서 이번 지질조사를 통해 중문천을 이루는 용암류가 녹하지악에서 기원되었는가를 살펴보고 용암류가 점성이 높은 아아용암류가 맞는가에 대해 검토해 보고자 하였다.

중문천 일대의 용암류는 일반적인 지표 용암류와 달리 두께가 두껍고 내부에 주상절리와 판상절리가 잘 발달하고 있다. 일반적으로 주상절리는 용암 및 화산암류에서 흔히 나타나는 반면, 판상절리는 주로 화강암류에서 나타나는 것으로 알려져 있다. 그런데 중문천 일대의 용암류에서는 주상절리와 판상절리가 함께 나타나는 독특한 양상을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 성격이 다른 두 종류의 절리가 하나의 용암류에서 함께 나타나는 원인을 찾아 규명하고자 하였다.

마지막으로 중문천 일대에는 포트홀, 하식동굴을 비롯하여 서있는 바위 등으로 이름붙일 수 있는 다양한 지형들이 나타난다. 따라서 연구의 마지막 목적은 중문천 일대에서 나타나는 독특한 지형이 만들어진 원인에 대해서도 살펴보고자 하였다.



## V. 중문천 일대의 지질조사 결과

### 1. 용암류

#### 1) 암석의 특징

중문천 일대는 하류에서 상류까지 약 12km에 걸쳐 동일한 특징을 보이는 용암류가 분포하고 있다. 중문천을 구성하는 이 용암류는 총 2매이며, 용암류 사이에는 고토양층이 협재되어 있어 비교적 용암의 단위구분이 용이하다(그림 4). 현재로서는 각각의 용암류 분출시기를 명확히 알 수 없지만 암상의 특징이 유사한 것으로 미루어 두 용암 분출시기가 시간적인 단절이 크지 않았을 것으로 추정된다.

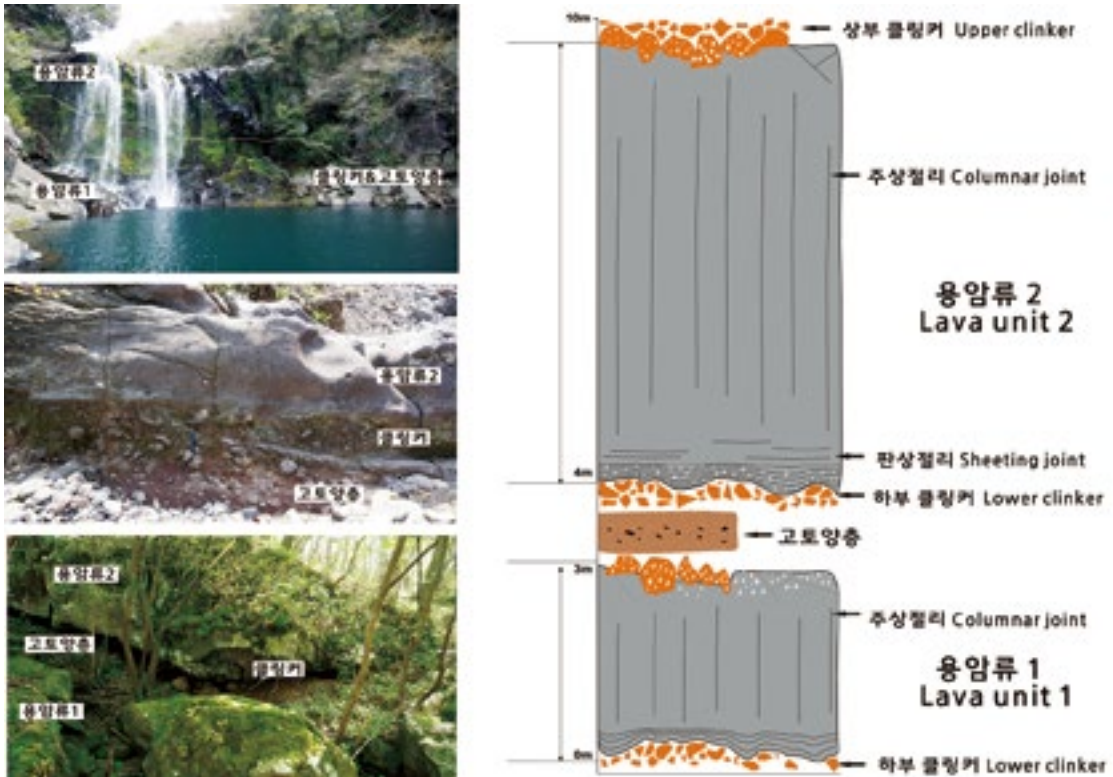


그림 4. 중문천을 구성하는 용암류(좌). 용암류의 모식 단면도, 2매의 용암류와 그 사이에 발달한 고토양층(우)

용암류 1은 1 ~ 3m 두께이며 중문천 일부 지점에서만 관찰된다. 용암류 1은 상부에 소규모 클링커층이 협재되어 있고, 곧바로 고토양층에 피복되는 경우가 일반적이다. 용암류 내부에는 주상절리가 부분적으로 발달되어 있다(그림 4).



용암류 2는 중문천의 대부분을 차지하는 용암류로서 두께는 약 2 ~ 6m 이다. 용암류 2의 하부에는 수십 cm ~ 1m 두께로 붉은색을 띠고 다공질이며 불규칙한 암편들이 엉겨붙은 클링커가 관찰된다. 클링커와 괴상 용암류의 경계면에는 얇은 판상절리가 발달하고 있으며 용암류의 중간부분에는 주상절리가 발달되어 있다(그림 4). 용암류 2의 상부는 하부와 마찬가지로 붉은색을 띠고 다공질이며 불규칙한 형태의 암편들로 구성된 클링커가 나타난다. 용암류 2의 내부 기공은 주로 상부와 하부에 많고 중간부분은 기공이 거의 없는 치밀한 형태를 보이고 있다. 또한 수직으로 발달한 파이프 형태의 기공과 수평방향으로 발달한 시트상의 기공들도 관찰된다. 용암류 내부에는 침상의 사장석 반정들이 전체에 걸쳐 고루 분포하고 있으며, 일부 감람석 반정들도 소량 포함되어 있다. 용암류 1과 2 사이에는 분급이 불량한 모래와 이질 퇴적물로 구성되어 있으며, 내부에 월마도가 양호한 현무암편들이 포함된 고토양층이 분포하고 있다(그림 5).



그림 5. 고토양층을 기준으로 구분되는 중문천의 용암류 단위. 용암류의 하부에는 적갈색으로 산화된 다공질의 클링커가 분포하고 있다

한편, 중문천 상류 녹하지악 인근에서는 적색을 띠며 다공질의 암편들로 구성된 하천 단면이 노출되어 있다. 이 단면에서는 불규칙하고 크기가 다양한 암편들이 분급이 불량한 퇴적물과 섞여있는 형태를 볼 수 있다. 특히 암편의 크기는 수십 cm에서 1m로 다양한 크기 분포를 보이고 있으며, 가장자리가 울퉁불퉁하고 적색을 띠며 기공이 많은 다공질의 특성을 보이고 있다(그림 6).



그림 6. 녹하지악 전경(좌)과 녹하지악 인근 중문천 상류에서 관찰되는 다공질의 암편들로 구성된 지층(우). 기존 용암류로 구성된 하천의 암석과는 확연한 차이를 보인다.

## 2) 연구결과 해석

중문천 일대에서 나타나는 용암류는 중문 해안에서 녹하지악을 거쳐 중문천 전체에 분포하고 있어, 기존에 용암류의 기원지가 녹하지악이라는 해석과는 다른 결과를 보여주고 있다(그림 7). 그리고 기존 지질도폭 조사 결과에서 보면 중문천의 최상류 일대에는 법정동 조면현무암과 한라산조면암이 분포하는 것으로 조사되었으나, 조사결과 중문천의 최상류에서 두 종류의 암석이 분포하지 않는 것을 확인하였다(그림. 7). 따라서 중문천 전체를 구성하는 용암류는 단일한 조성과 특징을 보이는 하나의 용암류로서 그 분출지는 녹하지악보다 상류에 위치한 오름에서 분출되었을 가능성이 높다고 할 수 있다. 그러나 중문천 조사결과만으로 분출지의 위치를 찾기에선 자료가 충분하지 못해 향후 보다 자세한 조사가 이루어져야 할 것이다. 이와같은 용암류 진원지에 대한 조사는 중문천의 원류를 찾는 문제를 넘어



그림 7. 동일한 암상으로 분포하는 중문천 용암



제주도 남서부의 지질을 이해하는데도 중요한 의미가 있을 것으로 생각된다.

한편, 녹하지악 인근 하천단면에서 관찰되는 다공질이며 적갈색을 띠는 암편은 분석(제주어로 송이: scoria)으로 해석된다. 이 분석은 암석의 선후관계상 용암류의 상부를 피복하는 형태로 분포하고 있어 녹하지악에서 분출된 것으로 추정된다. 따라서 녹하지악은 중문천의 용암이 흐르고 난 이후에 스트롬볼리안 분출이 발생한 것으로 해석할 수 있다.

## 2. 주상절리와 판상절리

### 1) 절리의 특징

중문천의 대표적인 지질명소로 천제연폭포를 들 수 있다. 천제연폭포를 구성하는 용암은 두께가 약 10m 내외이며, 주상절리가 잘 발달해 있다. 이러한 특징은 중문천을 구성하



그림 8. 주상절리가 잘 발달한 중문천의 상류(상)와 하류(하). 상류부는 절리의 크기가 크고 불규칙하지만, 하류부는 크기가 작고 조밀한 특징을 보인다.

는 용암류 전체에서 동일하게 나타나고 있으며, 녹하지악 상류의 민머루오름 일대에서도 주상절리가 발달한 용암류가 분포하고 있다(그림 8).

주상절리의 크기는 상류와 하류에 따라 차이를 보이는데, 상류쪽 주상절리의 폭은 1 ~ 2m, 길이는 2 ~ 5m인 반면, 하류쪽 절리의 폭은 20 ~ 70cm, 길이는 5 ~ 8m 내외이다. 즉, 하류쪽이 상류쪽에 비해 절리의 크기가 작고 조밀하며 규칙적인 방향성을 보인다고 할 수 있다. 그리고 상·하류에 상관없이 공통적으로 각 주상절리의 내부에는 수평으로 발달한 선구조 또는 판상절리가 관찰되기도 한다(그림 8).

한편, 주상절리가 발달한 용암의 기저부와 고토양층과의 접촉부 주변에는 독특한 형태의 판상절리가 발달하고 있다. 판상절리는 하부 접촉면에서 수cm ~ 1m 내외의 범위에서 분포하며 상부로 가면서 주상절리로 형태가 변해가는 경향을 보인다. 판상절리의 간격은 0.5 ~ 2cm 내외의 두께이며 얇게 쪼개지는 특성을 보인다. 또한 일부 판상절리는 얇게 떨어져 분리되는 박리현상이 관찰되기도 한다(그림 9).



그림 9. 용암류의 하부 경계면 주변에 발달하는 독특한 판상절리. 하부지층의 형태에 따라 판상절리의 방향이 휘어지는 독특한 형태를 관찰할 수 있다.



관상절리의 형태는 하부 지형의 모양에 따라 방향이 휘어지는 독특한 형태를 보인다. 특히, 요철모양의 지형 상부에 놓인 관상절리의 경우 절리의 방향이 클링커의 요철지형과 나란하게 발달하는 것을 볼 수 있다. 그리고 용암구(lava ball)로 추정되는 지형적 장애물과 함께 나타나는 경우 절리의 형태가 용암구의 표면과 나란하게 휘어진 독특한 모양을 보인다(그림 10).



그림 10. 하부 지형에 따라 휘어진 형태로 나타나는 관상절리

지금까지 용암류의 하부에 관상절리가 나타나는 경우도 매우 드물지만 관상절리가 하부 지층의 경계면의 형태에 따라 동일한 방향으로 휘어지는 경우는 거의 알려진 바가 없는 독특한 사례라고 할 수 있다(그림 10).

## 2) 주상절리와 관상절리의 형성과정

일반적으로 용암의 온도는 약 1,100 ~ 1,300°C 정도인데, 용암이 식어가면서 온도가 1,000°C 이하로 낮아지면 액체상태의 용암 표면이 갑자기 수축되면서 여러개의 수축점이 만들어지고 그 점을 중심으로 수축작용이 발생한다(그림 11). 냉각점은 수축이 시작되는 바닥과 표면의 냉각면에서 시작하여 안쪽으로 전파되어 규칙적인 절리를 형성한다. 이런 부피의 감소는 여름철에 기차레일이 팽창했다가 겨울철에 다시 수축하는 현상과 비슷한 원리이다. 용암이 식으면서 발생한 표면의 수축작용에 의해 여러개의 수축점을 중심으로 뭉쳐지고, 뭉쳐진 틈간의 경계는 점점 벌어지게 된다. 이처럼 뭉쳐진 용암의 표면은 보통 육각형을 띠게 되는데, 표면의 모양이 마치 거북이 등 모양처럼 갈라져 있다고 해서 거북등 절리라고 부른다. 그리고 절리의 틈이 수직으로 계속 연결되어 쪼개진 면이 마치 기둥모양을 하고 있는 것을 주상절리라 한다(그림 11). 주상절리의 크기는 용암의 두께, 온도, 냉각률, 열구배 등에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다. 넓은 직경의 주상절리는 느린 냉각에 의해 형성되고 좁은 직경의 주상절리는 빠른 냉각에 의해 형성되는 것으로 알려져 있다. 그러나 용암의 내부는 냉각되는 과정에서 흐르려는 전단력을 받기 때문에 내부 절리의 방향이 휘어지면서 발달하는 경우도 있다.

따라서 중문천의 주상절리는 전체적으로 수직으로 발달하고 있어 냉각과정에서 용암의 흐르는 전단력을 거의 받지 않았던 것으로 추정된다. 또한 절리의 크기가 큰 중문천의 상류는 하류에 비해 상대적으로 천천히 냉각되면서 만들어진 것으로 해석할 수 있다.

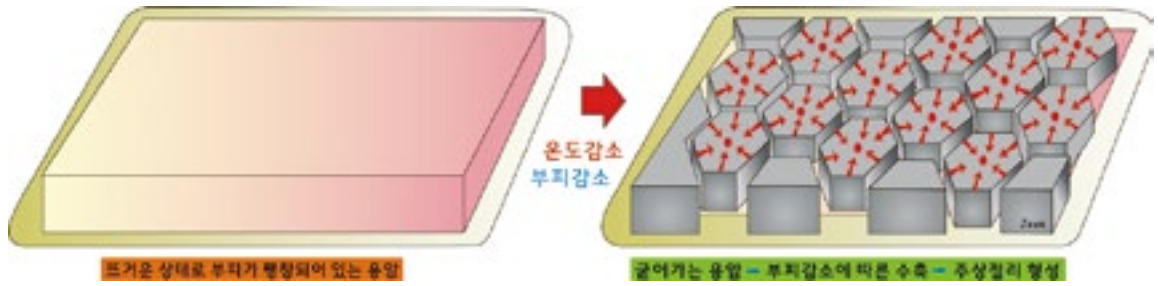


그림 11. 주상절리의 형성과정

한편, 중문천을 구성하는 용암류의 기저부(하부)에는 판상절리와 치슬마크가 수평으로 잘 발달되어 있다. 치슬마크는 용암이 하부 또는 상부로부터 점차 식어감에 따라 생기는 수평의 띠 구조를 말하는데, 일반적으로 용암이 식는 과정에서 수직의 주상절리와 함께 형성되는 것으로 알려져 있다(그림 12). 또한 치슬마크는 중문 대포 해안의 주상절리대에서 잘 발달하고 있으며, 연구지역인 중문천의 용암에서도 치슬마크가 잘 발달되어 있다.

중문천 용암류에 하부에는 치슬마크 뿐만 아니라 판상절리도 동일한 높이에서 나타나고 있다. 특히 중문천 곳곳에서 치슬마크가 판상절리로 변해가는 형태가 나타나고 있다(그림 13). 지금까지 용암류 하부의 치슬마크가 판상절리로 변해가는 경우에 대해서는 별다른 연구결과가 없었으나 이번 조사를 통해 치슬마크가 판상절리로 변해가는 과정을 관찰함에 따라 용암류 하부에 발달한 판상절리의 형성원인이 치슬마크의 발달과 밀접한 관련이 있음을 알게 되었다. 즉, 용암의 냉각에 의해 형성된 치슬마크를 따라 오랜기간 동안 풍화가 진행되면서 판상의 절리로 변해가는 것으로 생각되며, 판상절리의 형태가 용암의 하부 경계면과 나란하게 휘어지면서 분포하는 특징도 이런 해석을 뒷받침한다. 또한 판상절리는 점차 시간이 지남에 따라 동결 파쇄 등의 작용을 거치면서 얇게 깨지는 박리작용을 받아 형성된 것으로 해석할 수 있다(그림 12). 이와같은 연구결과는 앞으로 제주도 용암류에 발달한 판상절리의 형성원인을 규명하는데 좋은 사례가 될 것으로 생각된다.

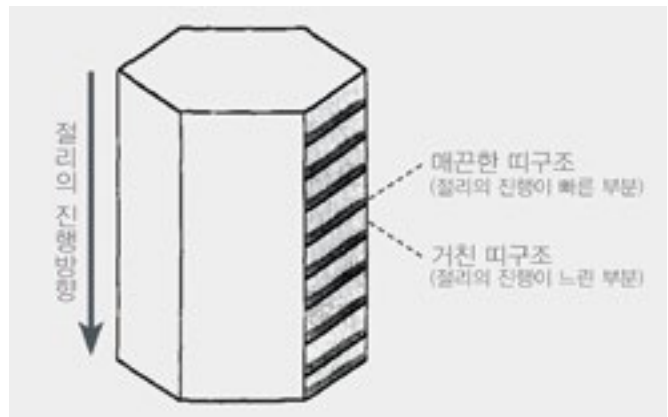


그림 12. 치슬마크의 형성과정



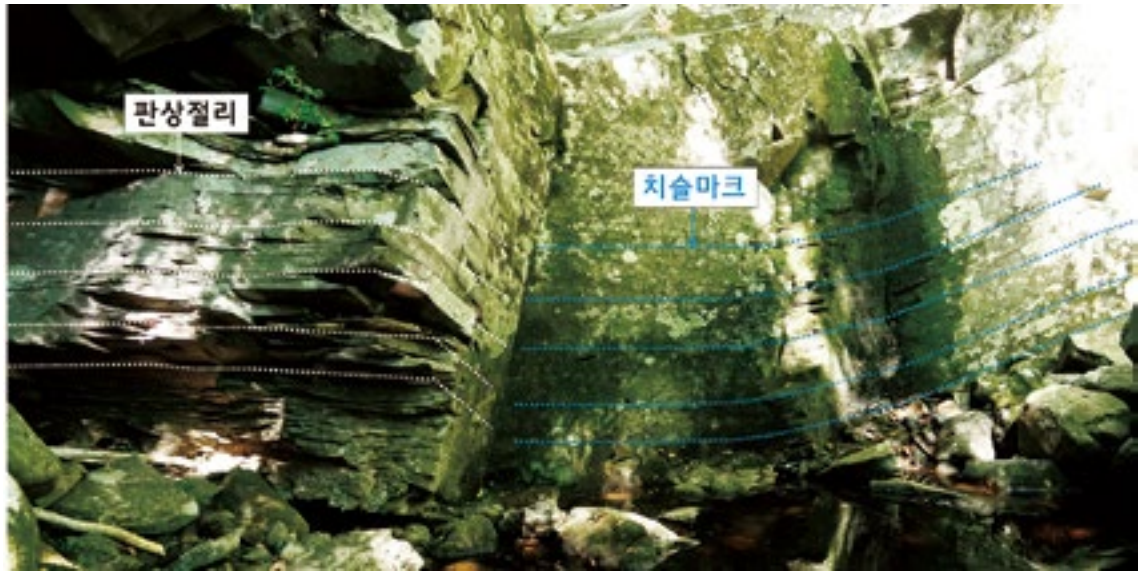


그림 13. 판상절리가 발달한 왼쪽과 치슬마크가 발달한 오른쪽 부분



그림 14. 치슬마크가 발달된 용암류 하부(상). 치슬마크를 따라 쪼개짐이 발달한 용암류의 하부(하)

### 3. 포트홀, 궤, 선돌

#### 1) 포트홀

중문천 전구간 하천의 바닥에는 둥글게 흠이 파진 구멍들이 곳곳에서 관찰되며 둥근 구멍들이 서로 불규칙하게 연결된 지형들이 나타나기도 한다. 이처럼 하천 바닥의 기반암에 구멍이 뚫려있는 구조를 포트홀(pothole)이라고 한다.

중문천에서 나타나는 포트홀은 직경이 수cm ~ 수십cm까지 다양하며, 깊이는 보통 수십 cm 이상이다. 중문천의 포트홀은 주로 홍수 때 하천의 빠른 유속에 의해 크고 작은 자갈이 운반되는 과정에서 하천 바닥에 작은 흠을 만들고 이 흠에 들어간 자갈이나 암석덩어리가 와류에 의해 반복적인 회전운동을 하면서 커다란 항아리 모양의 구멍을 만들게 된 것으로 해석된다(그림 15). 포트홀의 크기는 기반암의 종류, 운반물질, 유속과 유량 등에 따라 달라지며, 이미 형성된 포트홀은 기존의 포트홀을 파괴시키면서 점차 지형을 낮아지게 만들기도 한다. 한편, 중문천 하천에서 볼 수 있는 소규모 폭포 등과 같은 절벽 지형은 포트홀의 규모가 커지면서 만들어진 것으로 해석된다.



그림 15. 중문천 하천 바닥에 발달한 포트홀과 포트홀이 합쳐진 형태의 하천 바닥 부분



## 2) 하식동굴(궤)

중문천 일대에는 하천의 침식작용에 의해 생긴 소규모 공동 즉, 하식동굴들이 3~4개 지점에서 관찰된다. 이 하식동굴은 입구의 높이가 1m 미만은 낮고 동굴 연장성도 2~3m에 불과하여 제주도에서 흔히 말하는 ‘궤’에 해당된다(그림 16). 동굴의 바닥에는 홍수때 운반되어온 모래와 진흙들로 평탄하게 채워진 형태를 보이고 있다. 동굴이 형성된 위치는 주로 하천 바닥의 측면을 이루는 용암의 하부 경계면에 있던 클링커층을 따라 형성되어 있는데, 이는 단단한 용암류에 비하여 유수에 깎여 나가기 쉬운 클링커층이 차별적인 침식을 받아 동굴이 만들어진 것으로 추정된다. 또한 동굴의 위치가 하천의 측면을 따라 발달하고 있는데, 이는 하천이 흐르면서 휘돌아 나가는 침식(공격)사면을 따라 굴삭작용이 발생한 결과로 생각할 수 있다. 한편, 중문천의 하식동굴은 제주도에서 과거 동굴 집자리 유적과 유사한 형태를 보이고 있을 뿐만 아니라 바닥이 평탄하여 임시로 거주하기에 적합한 환경을 지니고 있다. 그러나 하식동굴에 사람이 실제 거주했다 하더라도 주기적인 홍수 등에 의해 유적들이 모두 사라져 그 흔적이 보존될 수 없는 환경이었을 것으로 추정된다.



그림 16. 하천의 가장자리 사면에 발달한 하식동굴. 입구에 비해 동굴의 길이가 짧고, 연장성이 좋지 않은 특징을 보이고 있다.

### 3) 선바위

중문천 하류부 하천의 중간지점에는 높이 4~5m, 폭 2~3m인 수직의 독특한 바위가 나타난다(그림 17). 이 바위를 자세히 살펴보면 내부에는 얇은 용암이 겹겹이(layer-by-layer) 누적된 형태를 보이고 있다. 특히 얇은 용암의 겹은 용암내부에 있던 공기구멍 즉, 기공이 늘어나 있는 형태를 보이고 있다. 그리고 용암의 표면에는 적갈색으로 산화되고 기공이 많은 암편들이 붙어있는 형태를 보인다. 암편의 크기는 수cm에서 수십cm로 매우 다양하며, 대부분 불규칙한 각상의 형태를 보이고 있다(그림 17).



그림 17. 중문천 하류에서 볼수 있는 독특한 형태의 선바위(좌). 얇은 용암이 겹겹이 눌러 붙은 형태의 용암(우상). 용암의 표면에 들어 붙은 형태로 나타나는 다공질의 클링커(우하)

이와같이 수직으로 서있는 바위들은 제주도 곳곳에서 볼 수 있는데, 대표적인 곳이 용두암과 용연이다(그림 18). 수직으로 서있는 바위는 주로 점성이 높은 아아용암류가 흐르면서 형성되는데, 아아용암은 점성이 높아 천천히 두껍게 흐르면서 표면이 깨지는 자가 각력화작용(auto-brecciation)을 받아 표면에 클링커가 형성된다. 클링커는 용암의 내부가 식지 않도록 하는 단열 역할을 하여 내부에 용암은 굳지 않고 빠져나가버리면 암석은 대나무를 반쪽으로 자른 모양으로 남게 된다. 이와 같은 과정으로 뜨거웠던 용암의 중간부분이 빠져나가버리면 용암의 가장자리 부분에 서있는 형태의 바위들이 남아있게 된다. 그리고 서있는 형태의 바위들은 이차적인 하천의 침식작용을 거치면서 보다 독특한 모양으로 남게 된 것이다. 즉, 중문천 계곡의 선바위나 용두암, 용연 등은 모두 이와같이 아아



용암이 흐르고 남은 용암의 껍질부가 수직의 형태로 남아있다가 이차적인 풍화침식작용에 의해 독특한 모양으로 남게 되었다.

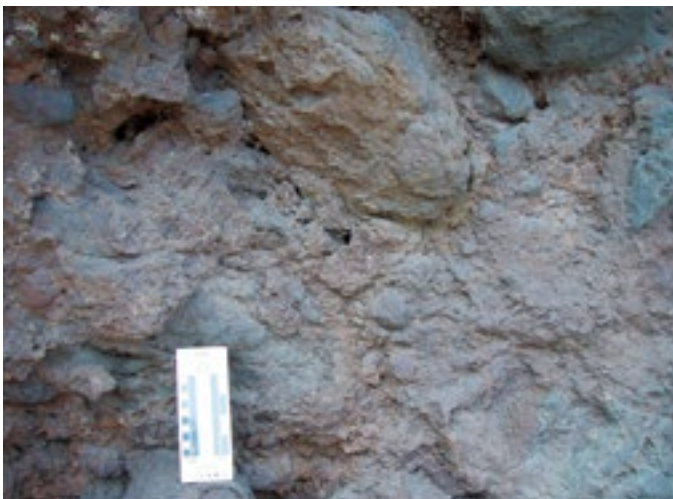


그림 18. 용연다리 아래에서 볼 수 있는 서있는 형태의 바위(위)와 용두암의 모습(가운데). 용두암과 용연 선바위(아래). 용두암의 표면에는 중문천의 선바위의 표면과 마찬가지로 모두 적갈색으로 산화된 다공질의 클링커가 표면에 붙어있는 공통점이 나타난다.

## [참고문헌]

- 고기원. 1997. 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성. 박사학위논문. 부산대학교, 325p.
- 고정선, 윤성호, 강순석. 2003. 제주도 한라산 백록담 분화구 일대 화산암류의 암석학적 연구. 지질학회지 12(1): 1-15.
- 김미령. 2003. 제주도 하천의 하계망 분석. 제주대학교 석사학위논문. 66p.
- 박기화, 이병주, 조동룡, 김정찬, 이승렬, 김유봉, 이한영, 조병욱, 장병남, 손병국, 전희영, 김용욱. 2000a. 서귀포·하호리도폭 지질보고서(1:50,000). 제주도, 한국자원연구소. 56p.
- 박기화, 조동룡, 김정찬. 2000b. 모슬포·한림도폭 지질보고서(1:50,000). 제주도·한국자원연구소. 163p.
- 박기화, 안주성, 기원서, 박원배. 2006. 제주도 지질여행. 한국지질자원연구원·제주발전연구원. 대전. 183p.
- 이문원, 원종관, 이동영, 박계현, 김문섭. 1994. 제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구. 지질학회지 34(6): 528-531.
- 윤석훈, 조성권. 2006. 제주도 서귀포층의 퇴적상과 퇴적환경. 지질학회지 42(1): 1-17.
- 전용문. 2009. 백악기 경상분지와 제4기 제주도 화산지원암의 암상과 정치과정. 경상대학교 박사학위논문. 165p.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V. 1987. Volcanic Successions: Modern and Ancient. Allen and Unwin, London. 528p.
- MacDonald, G.A. 1953. Paheohoe, aa, and block lava. American Journal of Science 251: 169-191.
- Self, S., Keszthelyi, L. and Thordarson, T. 1998. The importance of pahoehoe. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 26: 81-110.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K. 1992. The Ilchulbong tuff cone, Cheju Island, South Korea: depositional processes and evolution of an emergent, Surtseyan-type tuff cone. Sedimentology 39: 523 - 544.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K. 1993. The Udo tuff cone, Cheju Island, South Korea: transformation of pyroclastic fall into debris fall and grain flow on a steep volcanic cone slope. Sedimentology 40: 769 - 786.
- Sohn, Y.K. 1996. Hydrovolcanic processes forming basaltic tuff rings and cones on Cheju Island, Korea. Geological Society of America Bulletin 108: 1199-1211.
- Sohn, Y.K., Park, J.B., Khim, B.K., Park, K.H. and Koh, G.W. 2002. Stratigraphy, petrochemistry and Quaternary depositional record of the Songaksan tuff ring, Jeju Island, Korea. J. Volcanol. Geoth. Res. 19: 1 - 10.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H. 2004. Early-stage volcanism and sedimentation of Jeju Island revealed by the Sague borehole, SW Jeju Island, Korea. Geosci. J. 8: 73 - 84.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H. 2005. Composite tuff ring/cone complexes in Jeju Island, Korea: possible consequences of substrate collapse and vent migration. J. Volcanol. Geoth. Res. 141: 157 - 75.
- Sohn, Y.K., Park, K.H. and Yoon, S.H. 2008a. Primary versus secondary and subaerial versus submarine hydrovolcanic deposits in the subsurface of Jeju Island, Korea. Sedimentology. doi: 10.1111/j.1365-3091.2007.00927.x.