



1
창고천
학술탐사

창고천의 지형 및 지질

전 용 문

세계유산한라산연구원

I. 연구배경

1. 제주도 지질연구 배경

제주도는 한반도 남서쪽의 대륙붕 상에 위치하고 있는 화산섬으로, 약 180만 년 전부터 역사시대까지 발생한 화산활동에 의해 형성되었다. 제주도의 형태는 북동-남서 방향으로 신장된 타원형이며, 장축의 길이는 74km, 단축은 32km로 면적은 1,849km²이다.

제주도 지표에는 현무암에서 조면암에 걸친 다양한 용암류가 광범위하게 분포하고, 섬의 중앙부에는 한라산이 위치하고 있으며 지표에는 수많은 단성화산체(오름)들이 산재해 있다

(고기원 외, 2013)(그림. 1). 한편 제주도 지하에도 응회완 및 응회구와 같은 수성화산체가 무수히 존재하는데, 이는 제주 형성 초기 화산활동이 얇은 대륙붕 환경에서 화산활동이 일어났기 때문이다(Sohn and Park, 2004; Sohn et al., 2008; 전용문 외, 2013).

제주도 전역에서 이루어진 시추자료에 따르면 제주도의 지하는 최하부에 기반암이 분포하고, 그 상부에 U층과 서귀포층 그리고 용암류가 피복하는 형태로 구성되어 있다(고기원, 1997; 박기화 외, 2000). 제주도의 기반암은 중생대 및 신생대 제3기 화강암류와 화산암류로 구성되어 있으며(윤성호 외, 2009), 기반암의 상부에는 모래와 진흙으로 구성된 미고결 퇴적층인 U층이 분포한다(고기원, 1997). U층의 상부에는 현무암질 화산쇄설물과 해양생물의 화석을 포함한 서귀포층이 분포하고 있는데 서귀포층은 U층이 쌓이던 천해 대륙붕 환경에서 수성화산활동의 직·간접적인 결과에 의해 형성되었다(윤석훈, 외 2006; 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 베게 용암을 만들기도 하고 해안가 파식대지를 만들기도 하였다. 이러한 해수면 변동을 거치면서 제주도는 육지와 연결되기도 하였고 지금처럼 섬으로 존재하기도 하였다(제주도, 2006). 그리고 약 3-5천년전 해안가 일대에 수성화산활동이 발생하여 성산일출봉과 송악산 등이 형성되었으며, 이후 역사시대(약 천년전) 분출을 끝으로 제주도의 화산활동이 종료되었다.

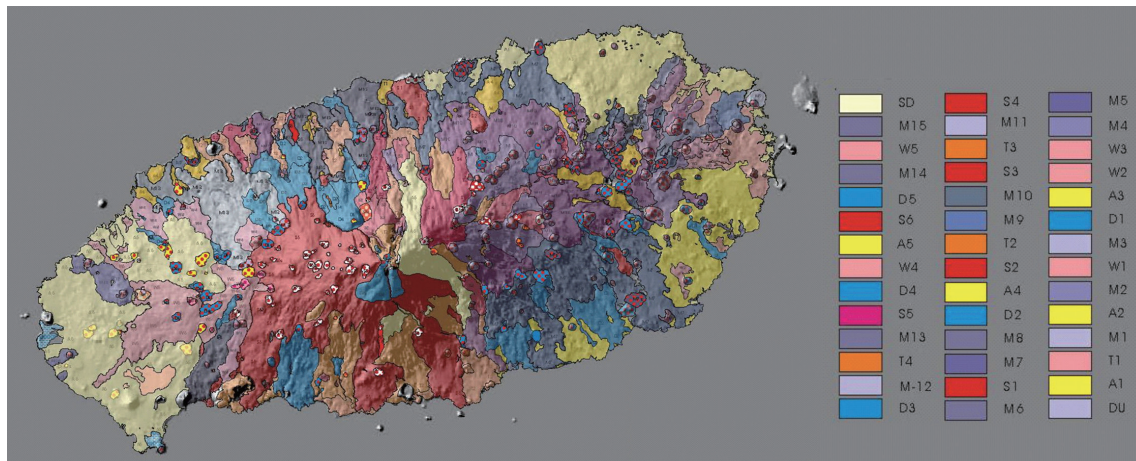
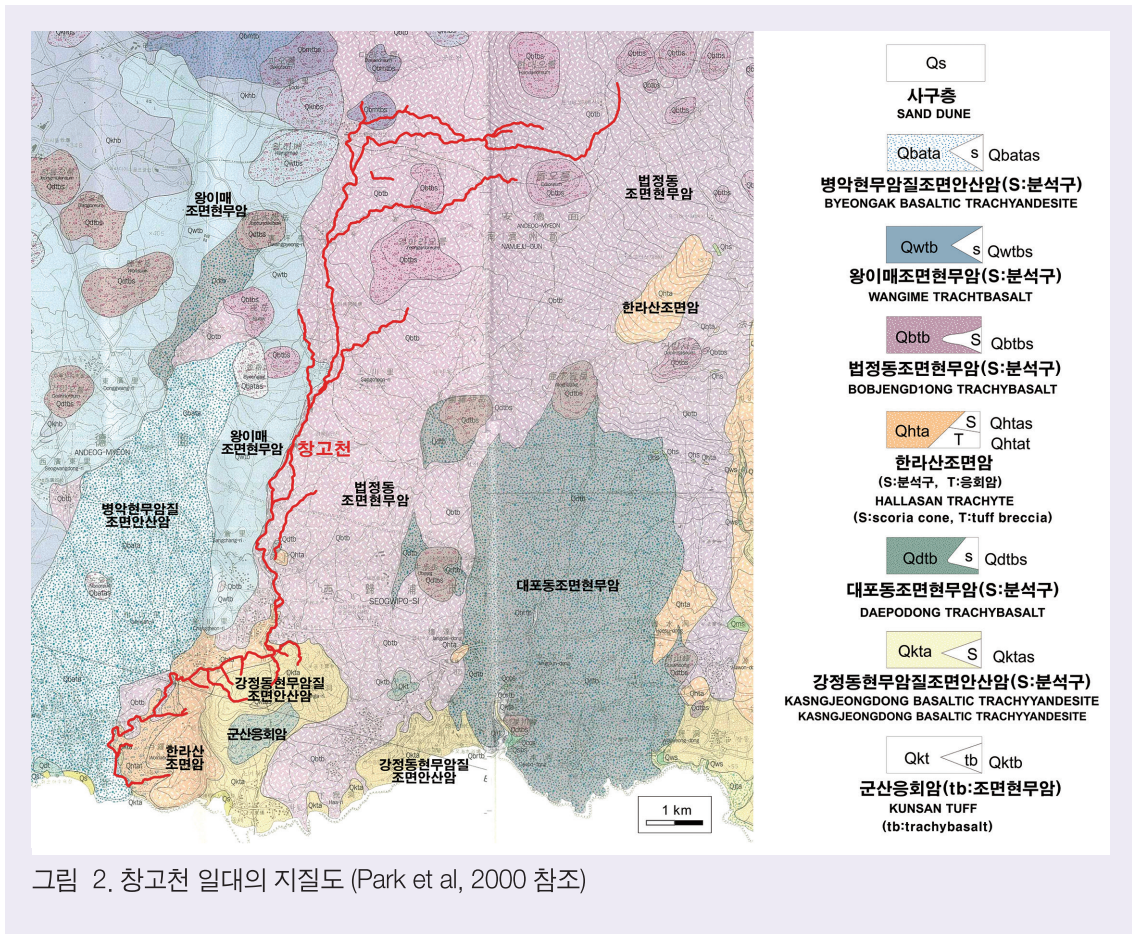


그림 1. 제주도 지질도 (박기화 외, 2000).

2. 창고천 일대의 기존 지질조사 결과

조사지역인 창고천은 서귀포시 남서쪽에 위치해 있으며, 한라산 남서쪽 안덕면 일원이 연구 범위에 포함된다. 창고천 주변을 구성하는 암석은 박기화 외(2000) 모슬포 지질도폭 설명서에 따르면 오래된 순서로 군산응회암, 강정동현무암질조면암, 한라산조면암, 법정동조면암, 왕이매조면현무암으로 구분할 수 있다(그림 2).

기존 지질조사 결과에 따르면 군산응회암은 화산재 지층으로 구성되어 있으며, 제주도 형성 초기에 발생한 폭발적인 화산분출에 의해 만들어진 것으로 알려져 있다. 한편 창고천의 최하류에 위치한 월라봉도 화산재 지층으로 구성되어 있으나 형성시기는 군산응회암에 비해 늦은 것으로 알려져 있다. 강정동현무암질조면암은 창고천의 하류부에 분포하고 있으며, 회색을 띠는 치밀하고 견고한 암석으로서 특히 중문 해안에서는 20m의 두께를 보이며 1m 간격의 주상절리가 발달한다. 암체 표면에는 두꺼운 클링커(clinker)가 형성되기도 하며, 풍화면에는 직경 1cm의 백색 풍화반점이 나타난다. 창고천 동측에 분포하는 대포동현무암은 두꺼운 용암류로 상부에 적색을 띠며 거친 표면의 클링커가 나타나는 것이 일반적인 특징이다(전용문, 2014). 또한 중문대포해안 주상절리대를 구성한 암석이 바로 대포동현무암의 일부이다. 한편, 한라산 조면암은 백록담 분화구의 서쪽 및 영실기암, 그리고 백록담의 북쪽과 남쪽에 넓게 분포하고 있으며, 돛상으로 솟아있는 백록담 분화구를 이루는 주요 암석으로 알려져 있다(제주특별자치도, 2009). 법정동조면현무암은 한라산 전체에서 가장 광범위하게 분포하는 암석으로 윗세누운오름과 윗세죽은오름에서 분출하여 1100도로 주변일대까지를 덮고 있는 용암류를 말한다(윤성호 외, 2010). 왕이매조면현무암은 왕이매에서 남서 방향 신평리까지 분포하고, 서쪽으로는 월림리까지 분포해 있으며 전체 면적은 약 100km에 이른다. 왕이매조면현무암은 회색 내지 암회색으로 치밀 견고하며, 부분적으로 기공이 함유되어 있는데, 대부분은 길게 신장되어 있다. 반경으로 2~3mm 크기의 감람석이 산점하는 특징이 있다. 병악현무암질조면 안산암은 병악 남측에서 상창리 일대에 노출되어 있는 암석으로 병악과 저지오름에서 분출된 것으로 알려져 있다. 그리고 연구지역 최상부에는 최근까지 바람에 의해 운반 퇴적된 사구층이 해안을 중심으로 분포하고 있다.



3. 제주도 지형연구 배경

제주도는 신생대 제3기 플라이오세 말에서 1002년 역사시대까지 발생한 화산활동에 의해 형성된 화산섬으로 제주도의 산계, 수계 및 지형은 화산활동과 관련되어 육지와 다른 독특한 형태를 갖게 되었다. 이런 독특한 지형 및 지질학적 특징으로 인해 제주도는 2007년 유네스코 세계자연유산, 2010년 세계지질공원으로 인증되었다.

제주도 중앙에는 해발 1,950m의 순상화산체인 한라산이 솟아있으며 다양한 크기와 형태, 성인을 지닌 360여개의 단성화산체들이 섬의 곳곳에 산재하여 전체적인 지형경관을 지배하고 있다. 해안주변에는 수성화산활동에 의해 형성된 응회환 및 응회구가 분포하며 파도의 침식 작용에 의해 독특한 해안지형을 이루고 있다. 또한 제주도에는 160여개의 용암동굴이 존재하는데, 이는 단성화산으로부터 흘러나온 점성이 작고 유동성이 큰 현무암질 용암이 흘러가면서 표면이 굳고 그 하부로 용암이 빠져나면서 형성된 공간으로, 제주도의 동쪽과 서쪽의 용암대지 지역에 주로 분포한다. 이러한 용암동굴의 분포 특징은 제주도의 동쪽과 서쪽지역이 더 완만

하고 넓은 용암대지가 발달하는 것과 깊은 관련이 있다.

제주도의 지형은 크게 중앙부의 한라산 순상화산체 및 그 위에 발달한 단성화산, 그리고 해안 저지대에 발달한 용암대지로 구분된다(제주도, 2006). 섬의 대부분은 한라산 백록담을 중심으로 동서 방향으로 완만하게(경사 $3\sim 5^\circ$), 남북방향으로는 다소 급하게(경사 $5\sim 7^\circ$) 경사진 전형적인 순상화산체로 이루어져 있다. 한편, 고도변화와 경사도에 따라 제주도의 지형을 해안저지대, 중산간지대, 산악지대 및 고산지대 등으로 구분하기도 한다. 표고 200m 이하인 해안저지대는 경사도가 4° 이하이며, 섬의 가장자리에서 매우 완만한 경사의 평지를 이루고 있다. 중산간지대는 표고 200~600m 구간이며, 산악지대는 표고 600~1,200m 구간으로 경사도가 $10^\circ\sim 20^\circ$ 로 다소 급한 사면을 이루고 있다. 고산지대는 표고 1,200m 이상에서 정상부근까지 구간을 말하며 경사도가 20도 이상의 급사면을 이루고 있다.

한편, 제주도의 수계는 한라산을 정점으로 방사상 수계를 이루고 있는데, 경사가 완만한 한라산 동-서 방향으로 넓은 용암대지가 발달하여 수계의 발달이 빈약한 반면, 경사가 급한 남-북사면을 따라 주요 하천들이 발달하고 있다(그림 3). 제주도의 연평균 강수량은 약 1,460mm 정도로 우리나라의 최다우지 중에 하나이지만, 하천 유역의 대부분이 투수성이 좋은 화산암으로 이루어져 있어서, 전 구간에 걸쳐 연중 물이 흐르는 하천은 전무하다. 한라산 고지대에 내린 강수는 대부분 용암류의 경계에 발달하는 다공질 투수층이나 하상의 절리 등을 따라 지하로 침투되어 버리며, 이러한 지하수는 해안 저지대 부근에서 다시 지표로 흘러나와 샘물이나 해안용천수를 형성하기도 한다(제주도, 2006; 전용문, 2013).

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 현상들이 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(그림 3). 서귀포 지역의 하천은 상류에서는 건천이지만 하류로 가면서 다량의 용천수 유출에 의해 수량이 증가하는 경향을 보인다.

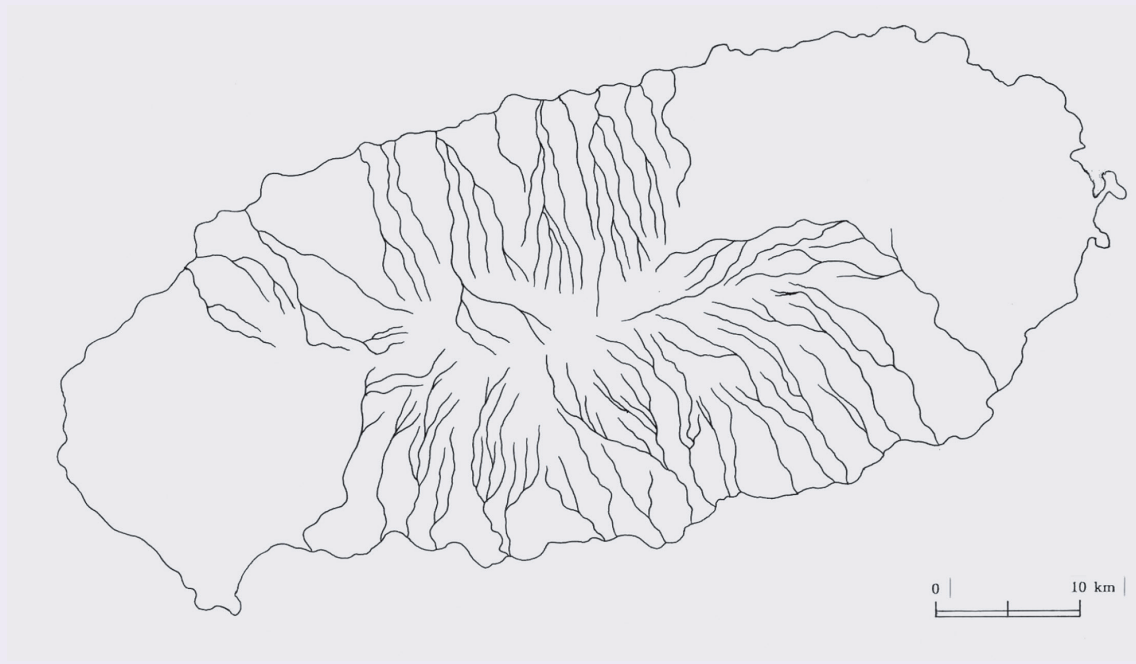


그림 3. 한라산을 중심으로 방사상으로 분포하는 제주도 하계망. 지형기복이 큰 제주시와 서귀포시를 중심으로 하천이 분포하고 있다. (김미령, 2003)

4. 창고천 일대의 지형분석 및 결과

서귀포시 남서쪽 일대에 발달하는 하천은 크게 창고천, 중문천, 강정천 등이 있으며, 지역에 따라 부르는 명칭이 달라지기도 한다. 이들 하천은 공통적으로 한라산 인근에서 발원하여 깊은 계곡을 이루고 있으며 남쪽해안으로 흘러가고 있다. 또한 이들 하천은 단일 하천으로 발달하기 보다는 주변 오름에서 발원한 지류들이 합쳐지면서 큰 하천으로 변해가는 양상을 보이고 있다(그림 4).

창고천은 삼형제오름중 삼형제 말젓오름에서 발원한 것으로 알려져 있으며 한라산을 중심으로 남쪽으로 발달한 하천이다. 창고천 인근에는 비슷한 방향성과 규모를 가진 중문천과 강정천이 발달하고 있다. 창고천의 총길이는 참고문헌에 따라 약간의 차이를 보이는데, 김미령(2003)의 논문에 따르면 18.66km이고, 제주도 하천연람에는 16.5km로 기재되어 있다. 창고천의 평균경사는 0.05이며, 발원지인 말젓오름이나 돌오름, 영아리오름 등에서 직접 발원한 1차수와 한대오름 남쪽에서 다래오름 남쪽까지 이어진 2차수, 그리고 창천면 인근 계곡을 따라 바다로 이어지는 3차수 하천으로 구성되어 있다(김미령, 2003) (그림 4). 창고천의 형태는 대체로 직선형이며 하류로 갈수록 깊은 계곡이 발달하는 특징을 보인다. 이와같이 깊은 계곡이 발달한 특징은 구조적인 단층운동의 의한 결과라기보다는 지속적인 하천의 점차 침식작용을 거치면서 깊은 계곡지형을 만든 것으로 해석된다.

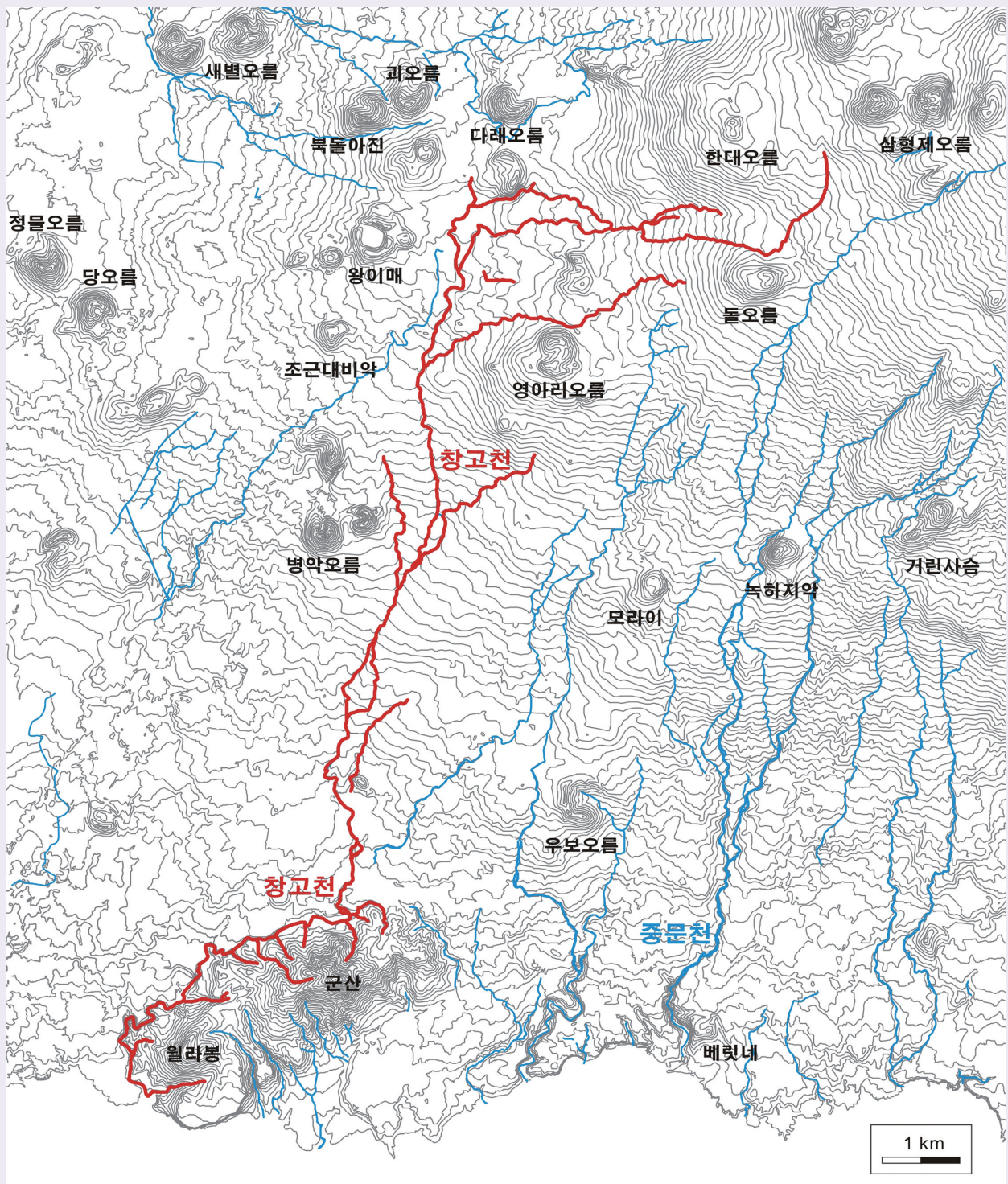


그림 4. 창고천은 삼형제오름 인근에서 발원하여 군산 및 월라봉의 지형에 지배를 받아 서쪽으로 크게 휘어져 바다로 유입 되는 형태를 보인다.

II. 연구결과 : 중문천 일대의 지질 및 지형

1. 창고전 일대의 지질조사 결과

창고전의 지질은 하나의 용암류 분포지역에 형성되어 있지 않고 상류부터 하류까지 다양한 특징을 보이는 용암류들이 분포하고 있다. 특히 창고전의 상류부와 하류부는 지형과 지질이 매우 다른 경향을 보이는데, 이는 용암의 분출지 뿐만 아니라 종류 및 분출시기가 각각 다른 암체들로 구성된 결과로 해석된다.

본 보고서에서는 창고전을 구성하는 암석의 특징(색깔, 반정의 유무와 종류 및 크기)과 구조에 따라 ① 기원지(삼형제 말젯오름 일대)-나인브릿지 골프장 인근을 최상류 구간, ② 발원지-상천2교 구간을 상류구간, ③ 상천2교-창고천교(유리박물관) 구간을 중류구간, ④ 창고천교-김광중 기념비 구간(안덕계곡)을 하류구간, ⑤ 마지막으로 기념비-해안까지 구간을 최하류 구간으로 각각 부분하였다. 그리고 창고전의 하천유역을 기존 지질도에 도시하여 기존 조사결과와 이번 조사결과를 비교분석하는 작업을 실시하였다

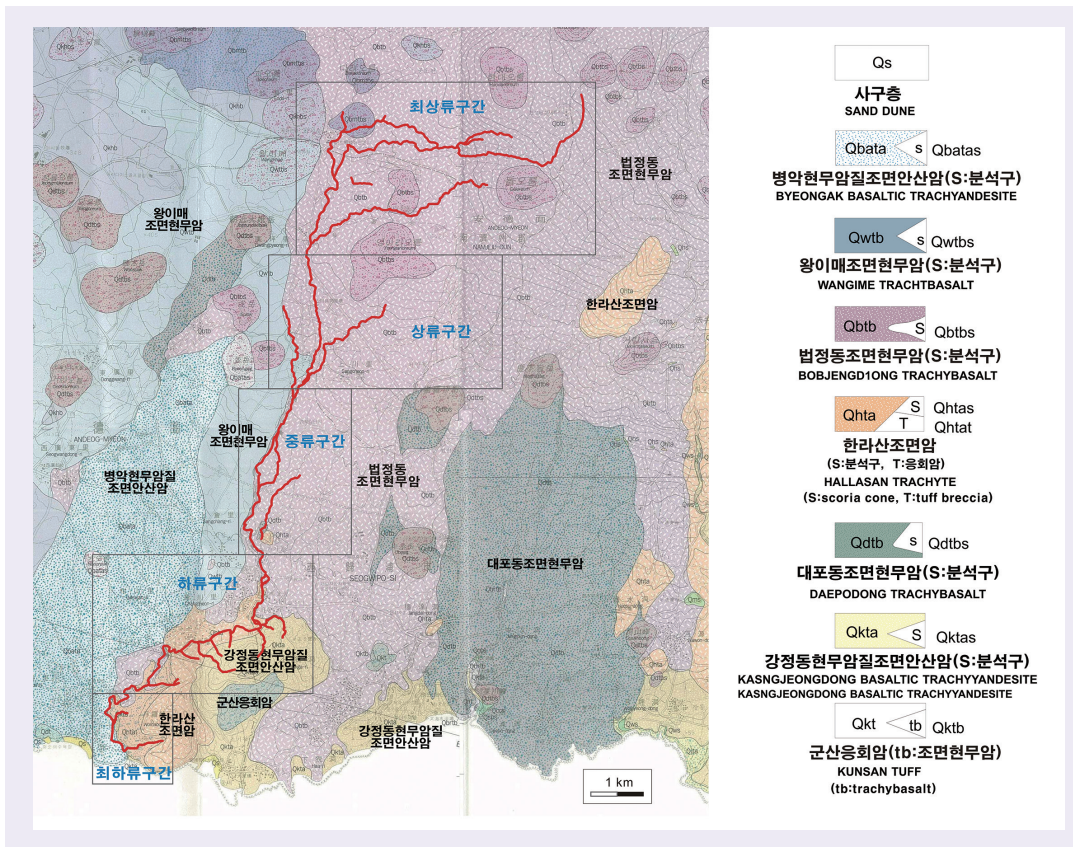


그림 5 창고전 일대의 암석은 박기화 외(2000) 모슬포 지질도폭 설명서에 따르면 오래된 순서로 군산응회암, 한라산조면암, 법정동조면암, 왕이매조면현무암으로 구성된다.

2. 구간별 지형 및 암석의 특징

① 최상류구간 : 발원지-나인브릿지 골프장 인근

최상류 구간은 발원지로부터 나인브릿지 골프장에 이르는 4-5km 구간에 해당된다(그림 5). 이 구간은 계곡이 깊지 않아 노출된 단면이 거의 없고 주로 왕자갈에서 거력 크기의 용암편들이 하천의 바닥을 피복하는 형태로 나타난다. 용암은 노출된 단면이 적어 측방 변화를 추정하기는 어렵지만 대체로 용암사이에 협재된 고토양층을 기준으로 2-4매의 용암류가 누적된 것으로 확인된다(그림 6A, B). 각각의 용암단위는 1-3m 두께를 보이는데, 짧은 구간에서도 두께의 변화가 매우 큰 편이다(그림 6B).

용암의 상부에는 클링커가 거의 발달하지 않지만 부분적으로 용암 하부에는 얇은 두께의 불규칙한 클링커가 소규모로 나타나기도 한다(그림 6A). 세부적인 암석의 특징을 살펴보면, 암석은 주로 암회색을 띠고 있으며, 특징적으로 5mm 내외 크기의 거정질 사장석을 포함하고 있어 육안으로 쉽게 구별이 가능하다(그림 6C, D). 이 일대의 암석은 창고천의 상류 뿐만 아니라 한라산 둘레길 입구까지 동일한 암석이 넓게 분포하고 있는 것으로 조사되었다.

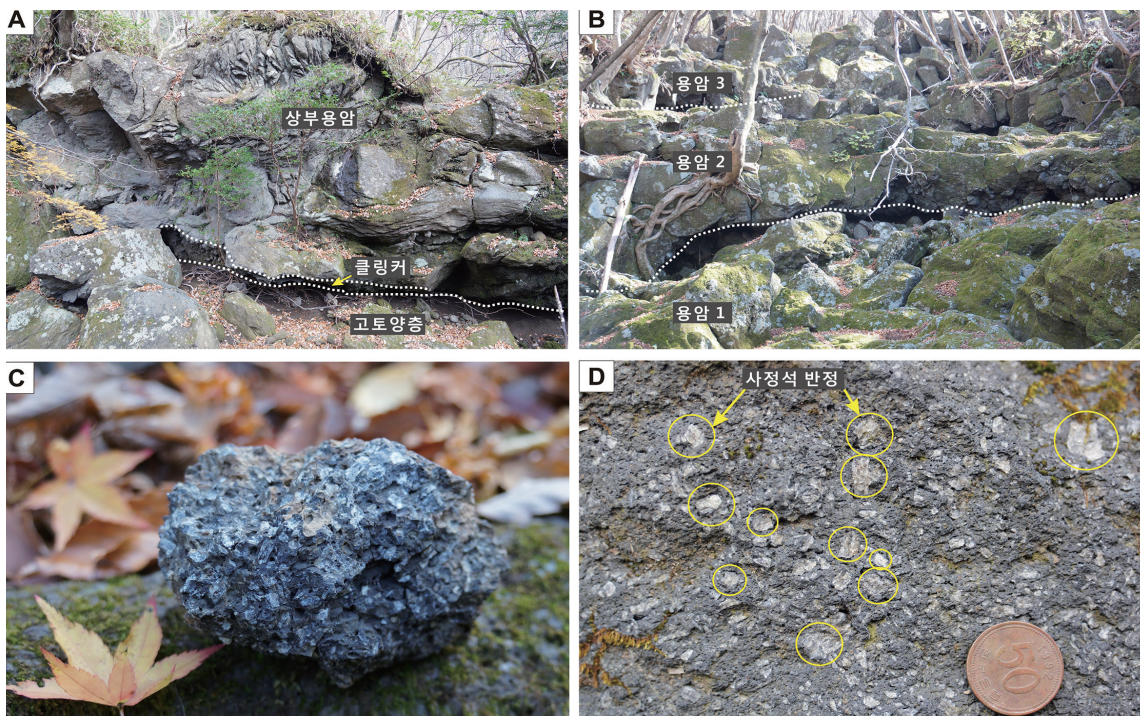


사진 1. 최상류 용암류는 2-4매의 용암류가 누적되어 있고 연속성이 불량하며, 부분적으로 클링커가 협재되어 있다. 또한 암석내부에 거정질의 사장석 반정이 포함되어 있다.

용암 하부에는 클링커가 수~수십 cm두께로 나타나는데, 지역에 따라 발달이 뚜렷하지 않은 경우도 많다. 또한 용암의 하부 클링커 분포구간에는 입구의 크기가 1-3m에 이르는 공동이 나타나기도 한다(그림 7A). 그러나 이 공동은 점성이 낮은 과호이호이용암에서 만들어지는 연장성이 양호한 용암동굴이 아니라, 클링커와 같이 자파쇄각력화(autobrecciation) 작용을 받아 형성된 용암구가 침식에 의해 제거되면서 만들어진 공간의 일종으로 추정된다. 또한 하천바닥에 소규모 공동은 하천의 쇄굴작용에 지속적으로 진행됨에 따라 공간이 길어지거나 넓어져 마치 용암동굴의 외형을 보이는 경우도 많아 구별이 필요하다.

한편 용암의 표면에는 줄무늬 형태의 구조들이 발달하고 있는데(그림 7B), 지속적인 하천의 침식작용에 의해 흙의 주조가 마치 밭의 이랑과 고랑처럼 발달된 형태를 보이고 있다. 이와같은 구조는 용암이 흐르는 동안 전면부가 굳어지면서 내부로 용암이 배수되지 못해 부풀어 올랐다가 다시 용암이 배수되면서 천천히 아래쪽으로 내려앉으면서 만들어진 구조로 생각된다. 그리고 하천의 지속적 침식작용에 의해 내려앉은 부분의 일부가 마치 밭의 이랑과 고랑처럼 남게된 것으로 추정된다.

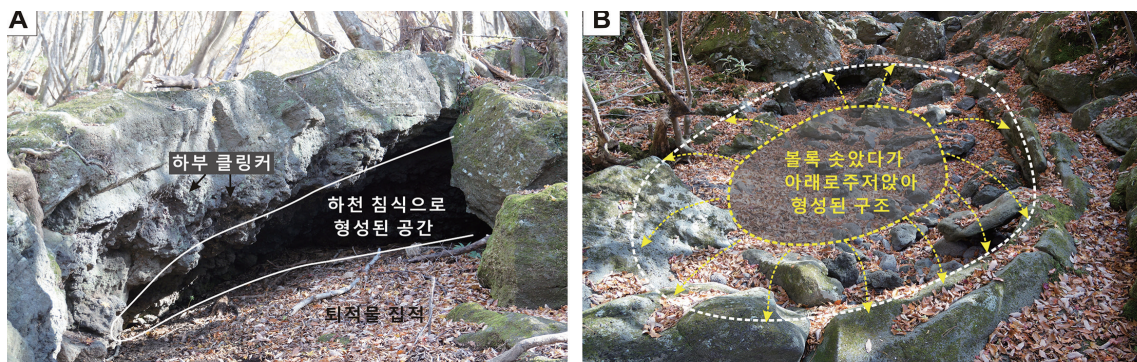


사진 2. A) 용암류 하부 클링커층이 하천의 침식작용에 의해 굴착된 공동.

B) 용암류가 전진하다가 막혀 부풀어 올랐다가 다시 배수되면서 내려앉아 만들어진 주름구조.

정리하면, 최상류구간에 대한 기존 지질조사 결과(Park et al., 2000) 범정동 조면현무암이 분포하는 것으로 조사되어 있는데, 이 조면현무암은 거정질의 사장석 반정을 다량 함유하는 것이 가장 큰 특징이다. 이번 조사결과에서도 최상류 구간에서 거정질의 사장석 반정을 포함한 암석이 분포하고 있음이 확인되어 최상류 구간은 기존 연구결과와 동일하게 범정동조면현무암이 분포하는 것으로 확인되었다.

② 상류 구간 : 나인브릿지 골프장 인근-상천2교

상류 구간은 지형 경사가 완만하고 암괴들이 하천표면에 흩어진 형태로 분포하고 있다. 암괴들은 크기가 수cm에서 수십 cm이며, 대부분 원마도가 양호한 원형 또는 타원형을 보이고

있어 운반에 의해 원마된 결과로 해석된다. 또한 상류구간은 측벽 침식이 거의 일어나지 않아 단면이 잘 드러나 있지 않아 용암류의 특징을 파악하기 어려운 구간이다(그림 8A). 일부 구간에서 관찰된 용암은 두께가 2.5-4m이며 치밀한 사장석 반정이 포함된 회색 용암류로 구성되어 있다(그림 8B). 상류구간의 암석은 사장석 반정이 다량 포함된 최상류구간과 매우 다른 외형을 보이고 있어 육안으로 쉽게 구별이 가능하다.



사진 3. A) 지형경사가 완만한 창고천 상류 구간, 주로 원마도가 양호한 암괴들로 피복된 양상을 보인다. B) 치밀한 사장석 반정이 포함된 암회색 현무암의 특징을 보인다.

상류구간 용암류의 기공은 주로 하부와 상부에 늘어진 형태로 존재하기도 하지만 중간부분은 기공이 거의 없는 특징을 보인다. 또한 부분적으로 수직의 주상절리가 잘 발달해 있다. 용암의 기저부에는 암괴들이 불규칙하게 엉겨붙어 있는 클링커가 관찰된다(그림 9A). 이 용암은 점성이 높은 용암류가 흐르면서 형성된 아아용암류로 해석된다. 용암류의 하부 클링커 직하부에는 적갈색 이질 입자들로 구성되며, 원마도가 양호한 암편들이 포함된 고토양층이 분포하고 있다(그림 9B,C). 이 고토양층은 하천 발달과정에서 용암류의 휴지기동안 홍수류 등에 의해 운반 퇴적된 것으로 추정된다.

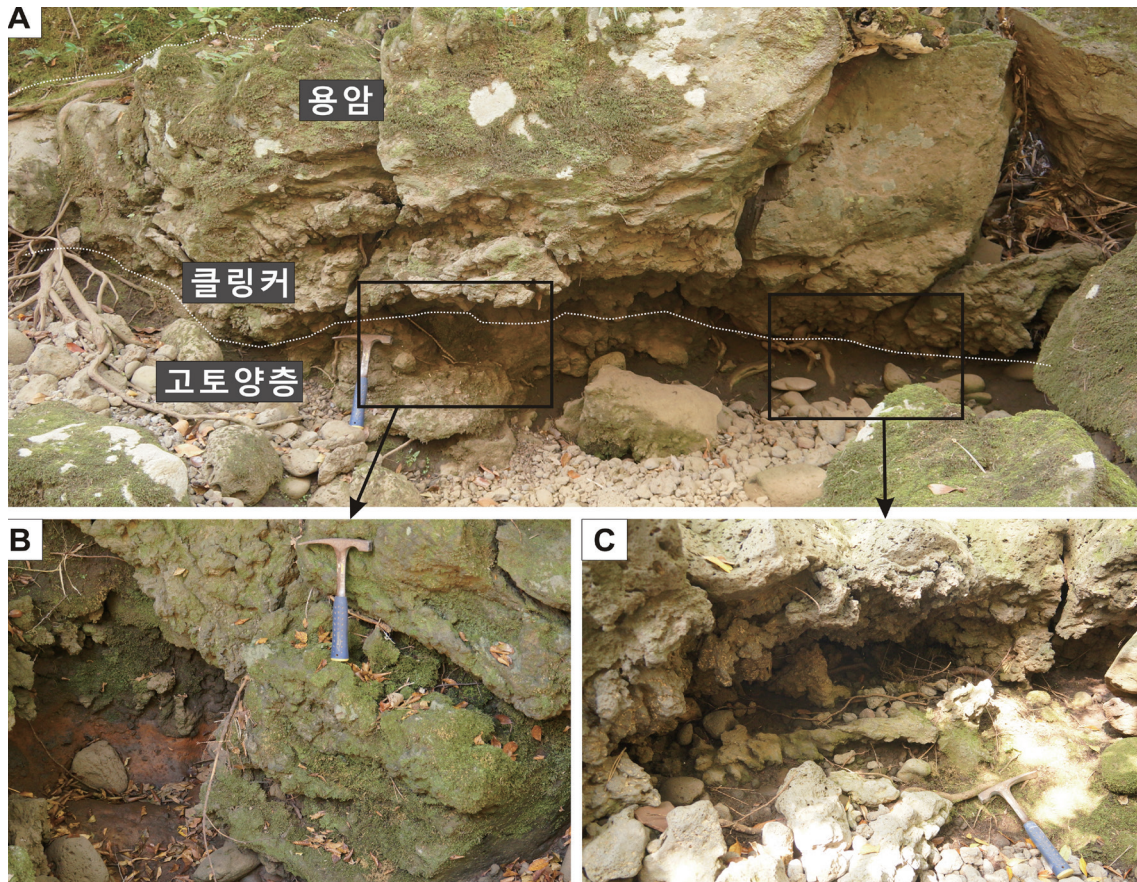


사진 4. 고토양층을 기준으로 구분이 가능한 용암류 단위. 고토양층은 적갈색 이질 입자들로 구성되며, 원마도가 양호한 암편들이 포함되어 있다.

기존 지질조사 결과(Park et al., 2000)와 이번 창고천 상류구간의 암석을 비교해 보면 기존 지질도상에서 창고천 상류구간은 법정동조면현무암 분포하는 것으로 나타나 있다. 그러나 이번 조사에서 상류구간의 암석은 대체로 기공의 발달이 적고 치밀한 회색의 조면암 계통의 특징을 보인다. 이는 기존 지질조사결과 인접한 왕이매조면현무암의 특징과 일치한다. 따라서 상류구간을 구성하는 암석은 법정동조면현무암 분포지역이 아니라 왕이매조면현무암에 해당되며, 기존의 지질도 분포에서 왕이매조면현무암의 분포범위가 창고천 상류구간까지 확대하여 표시될 필요가 있음을 확인하였다. 이와같이 실제 조사결과와 기존 지질조사결과가 차이를 보이는 원인은 실제 모든 계곡을 다 답사하여 조사를 하는 것이 거의 불가능하여 주로 지형경사를 따라 용암류의 분포범위를 구분해 왔기 때문으로 추정된다.

③ 중류구간 : 상천2교-창고천교(유리박물관)

중류구간은 용암류 사이에 협재된 고토양층을 기준으로 상부와 하부 용암류로 구분이 가능하다(그림 10A). 상부 용암류는 클링커가 발달한 아아용암류이며, 그 하부에 두께가 30-50cm

두께의 황갈색 고토양층이 분포하고 있다. 중류구간 용암류는 내부에 침상의 사장석 반정을 포함하고 있으며, 암색은 자주색을 띠는 경우가 많다. 한편 용암류 사이의 고토양층은 하부에 잔자갈 크기의 암괴들이 소량 포함되어 있고, 상부에는 거력이 세립의 입자들에 지지된 상태로 나타난다(그림 10A). 역은 크기에 상관없이 대체로 양호한 원마도를 보이고 있어 하천의 침식작용에 의해 운반과정에서 원마된 것으로 추정된다. 고토양층은 층리의 발달이 없는 세립-중립질 모래들로 구성되어 있고, 왕자갈 크기의 역들이 상부에 기질지지된 형태로 볼 때 대규모 홍수에 의해 짧은 시간동안 퇴적된 것으로 해석된다.



사진 5. 고토양층을 기준으로 구분이 가능한 상부와 하부 용암류.

한편 하부 용암은 2-5매의 얇은 암회색의 용암류가 누적 중첩된 형태로 나타난다. 용암류의 두께는 2-10m까지 매우 다양하며, 각각의 용암단위 두께도 지점에 따라 달라진다(그림 11A). 이 용암류는 수mm 크기의 거정질 사장석 반정이 포함되어 있어 암상구별이 용이하다(그림 11B). 이 용암류는 상부에서는 얇은 판상의 용암류가 누적된 판상의 형태를 보이지만 중류로 갈수록 판상의 형태가 괴상으로 변해가는 양상을 보이기도 한다. 특히 각각의 얇은 용암류 중 최하부 용암단위는 일정한 판상의 형태를 유지하며 연장되고 있지만 그 상부 용암단위는 두께가 1-3m로 급변하고, 하부에 클링커가 발달하는 양상을 보이기도 한다(그림 11A, C). 이와같은 특징은 용암류가 뜨거운 상태로 분출하여 흐를 당시에는 점성이 낮은 상태였으나 시간이 지날수록 온도가 낮아짐에 따라 점성이 높아져 아아 용암류의 성격을 보이게 된 것으로 추정된다. 한편 용암의 내부에는 소규모 용암동굴도 관찰되는데, 입구의 높이는 최대 40cm

넓이는 최대 1m 이며 연장길이는 약 2m로 제주도에서 흔히 말하는 궤에 해당된다(그림 11D).

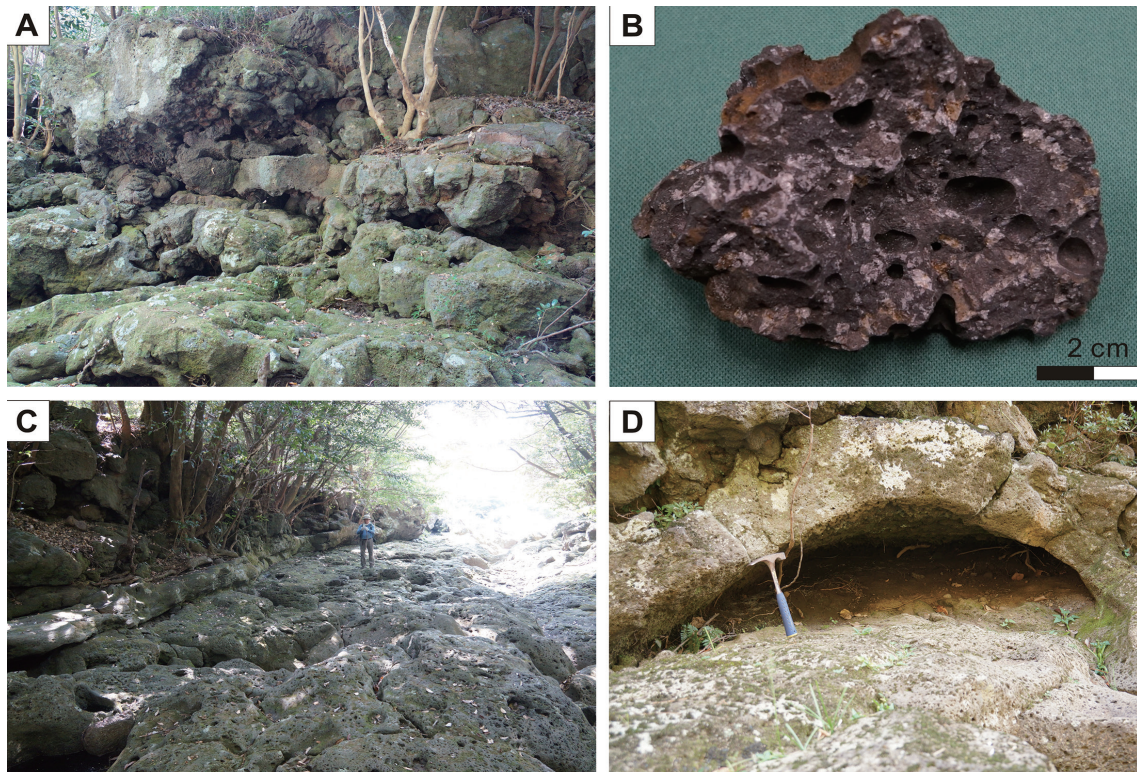


사진 6. A) 얇은 용암들이 누적된 하천단면. 부분적으로 얇은 클링커가 협재되어 있다.
B) 침상의 사장석 반정을 포함한 용암. C) 용암류의 표면을 따라 발달한 하천.
D) 용암류 내부에 분포하는 소규모 동굴.

창고천의 중류구간을 구성하는 암석의 특징을 비교해보면 중류구간을 구성하는 암석은 거정질의 사장석 반정을 많이 포함한 암회색의 현무암으로 최상류 구간의 암석과 동일한 특징을 보이고 있다. 그리고 기존 지질조사 결과에서도 창고천의 최상류와 중류구간을 구성하는 암석이 동일한 범정동조면현무암이 분포지로 조사되어 있어 기존 연구결과와 일치함을 확인하였다. 따라서 중류구간을 구성하는 암석 또한 범정동조면현무암 분포지역에 해당된다고 할 수 있다.

④ 하류구간 : 창고천교-기념비 구간(안덕계곡)

안덕계곡으로 대표되는 하류구간은 약 4-5km 길이로 창고천 하류의 대부분을 차지하고 있다. 하류구간의 높이 수m에서 10m의 깊은 계곡이 발달하고 있으며 울창한 활엽수림이 우거져 일찍부터 유명관광지로 알려져 있고 보호구역으로 지정 관리되고 있다(그림 12A).

안덕계곡에 발달하는 용암은 수m에서 10m 두께로 암회색의 두꺼운 용암으로 구성되어 있다.

용암은 괴상으로 치밀하여 광물의 반정들은 거의 관찰되지 않는다(그림 12B). 기공은 거의 나타나지 않으나 하부 경계면에서 일부 관찰된다.

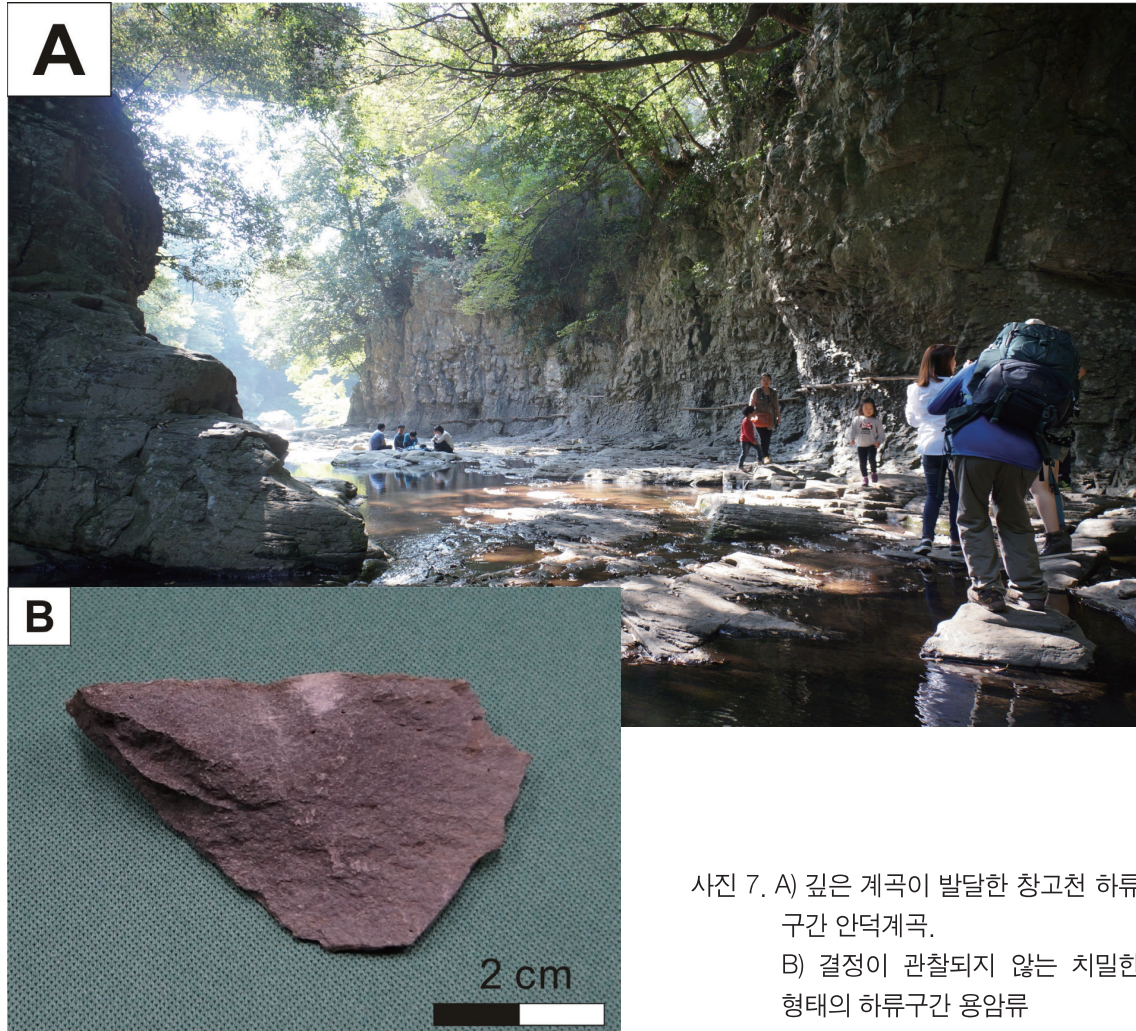


사진 7. A) 깊은 계곡이 발달한 창고천 하류 구간 안덕계곡.
B) 결정이 관찰되지 않는 치밀한 형태의 하류구간 용암류

안덕계곡은 전체적으로 수직의 주상절리가 잘 발달되어 있으며(그림 13A), 절이의 직경은 약 30-50cm에 이른다. 이 주상절리 내부에는 수평방향으로 치슬마크 및 판상절리가 발달하고 있다(그림 13B). 특히 치슬마크는 하천의 중심부로 가면서 판상절리로 변해가는 형태를 보인다(그림 13C). 치슬마크는 용암이 하부 또는 상부로부터 점차 식어감에 따라 생기는 수평의 띠 구조를 말하는데, 일반적으로 용암이 식는 과정에서 수직의 주상절리와 함께 형성되는 것으로 알려져 있다. 이와같은 판상의 절리는 안덕계곡의 바닥을 지배하는 대표적인 특징이다 (그림 13D). 안덕계곡으로 대표되는 창고천의 하류구간은 수직의 주상절리 형성과 동시에 발생하는 수평방향의 압력에 의해 판상절리가 형성된 대표적인 지역이라 할 수 있다.

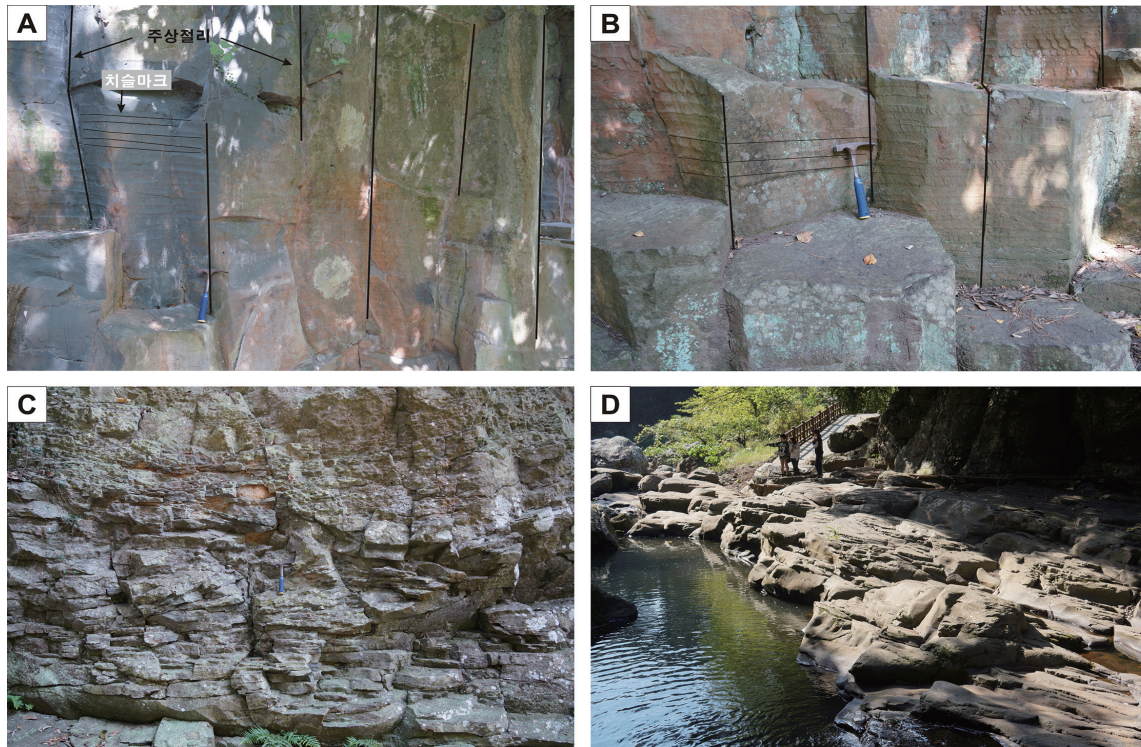


사진 8. A,B) 수직의 주상절리와 교차한 방향으로 발달한 수평의 판상절리.
C,D) 안덕계곡 벽면과 바닥에 잘 발달한 판상절리구조

한편 안덕계곡 용암의 하부에는 불규칙한 수십cm-수m 크기의 클링커와 소규모 동공이 존재하고 있다. 용암하부의 클링커와 소규모 동공이 동시에 존재하는 원인은 점성이 높은 조면암질 용암은 매우 느리게 흐르면서 용암의 표면은 빨리 굳어지고 내부는 여전히 뜨거운 상태로 흐르려는 성질로 인해 굳어지는 용암의 표면이 잡아당겨 깨지는 자파쇄각력화 작용을 받아 상부에 클링커가 형성된다. 그리고 이 상부 클링커는 불도저의 무한궤도 바퀴처럼 전진하면서 용암의 바닥으로 밀려들어 용암의 바닥에 클링커가 존재하게 된 것이다. 그리고 이 과정에서 용암의 표면에 있던 클링커는 전진하는 용암의 힘에 의해 눈덩이처럼 서로 엉겨붙어 둥근형태의 공모양을 만드는데 이런 과정에서 만들어진 것이 용암구(lava ball)이다. 따라서 용암구는 점성이 높은 아용암의 상부와 하부에 흔히 나타나는데, 이 용암구의 내부는 비어 있는 경우가 대부분이다. 따라서 안덕계곡 용암의 하부에 나타나는 소규모 동공은 아용암의 하부에 용암구가 존재하였다가 하천의 침식에 의해 깎여나가고 빈 공간만 남게 된 것이다. 따라서 만장굴이나 김녕굴이 만들어지는 원리와 안덕계곡의 소규모 동공은 그 형성 원인이 서로 다르다고 할 수 있다.

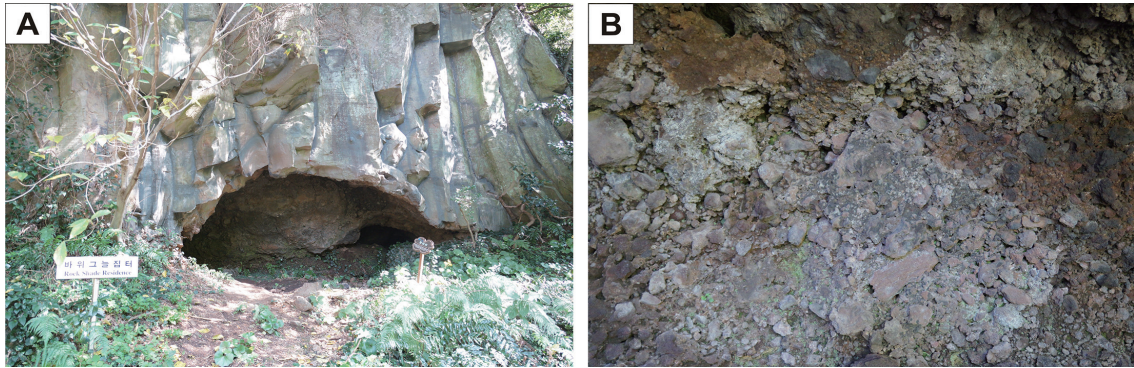


사진 9. A) 주상절리 하부에 발달한 공동, 실제 용암구가 있던 자리에 침식에 의해 공동이 형성된 것으로 추정된다.
B) 용암구가 있던 자리에 분포하는 클링커, 이 클링커가 모여 용암구를 만들었고, 침식에 의해 쉽게 제거된 것으로 추정된다.

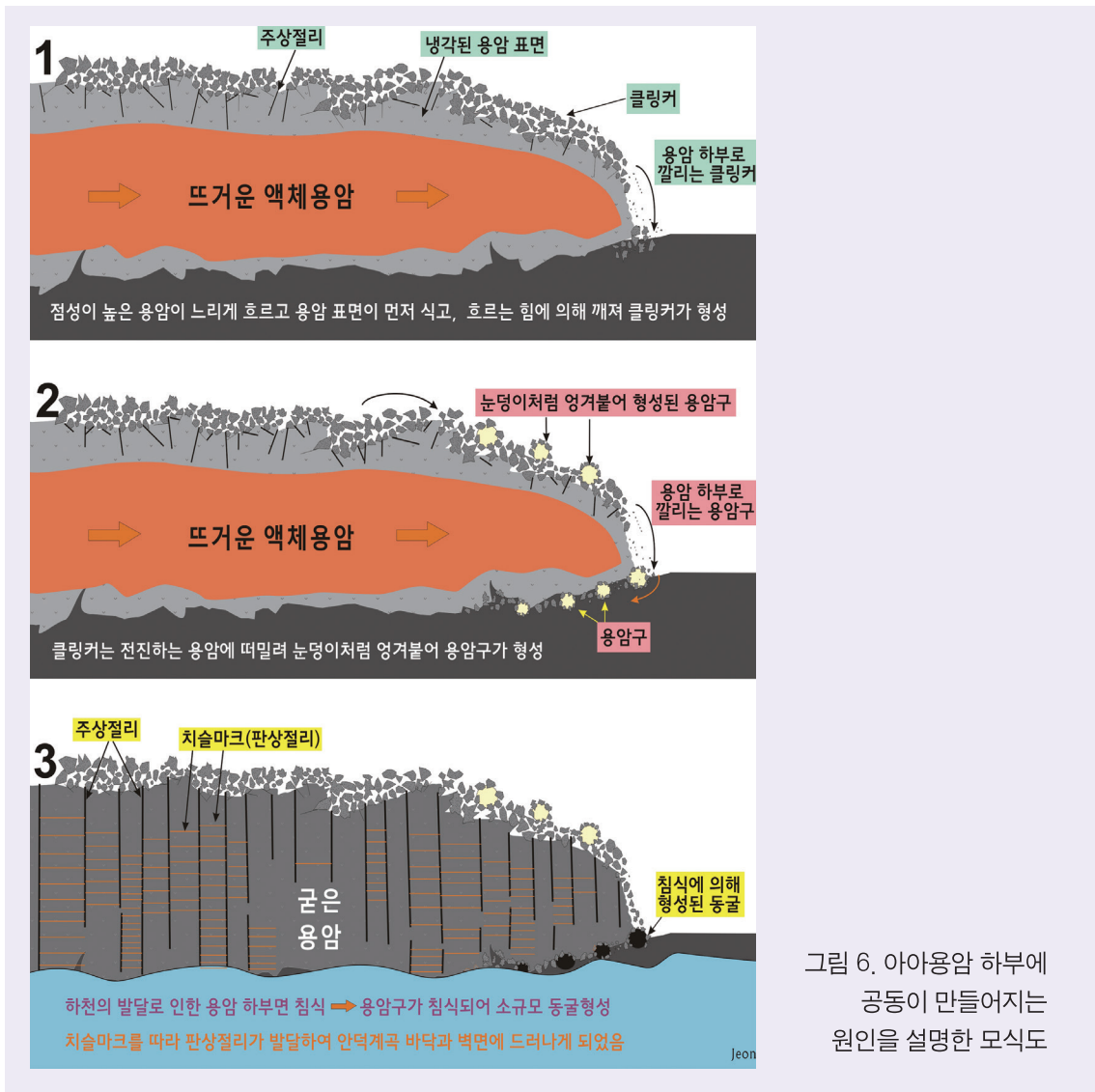


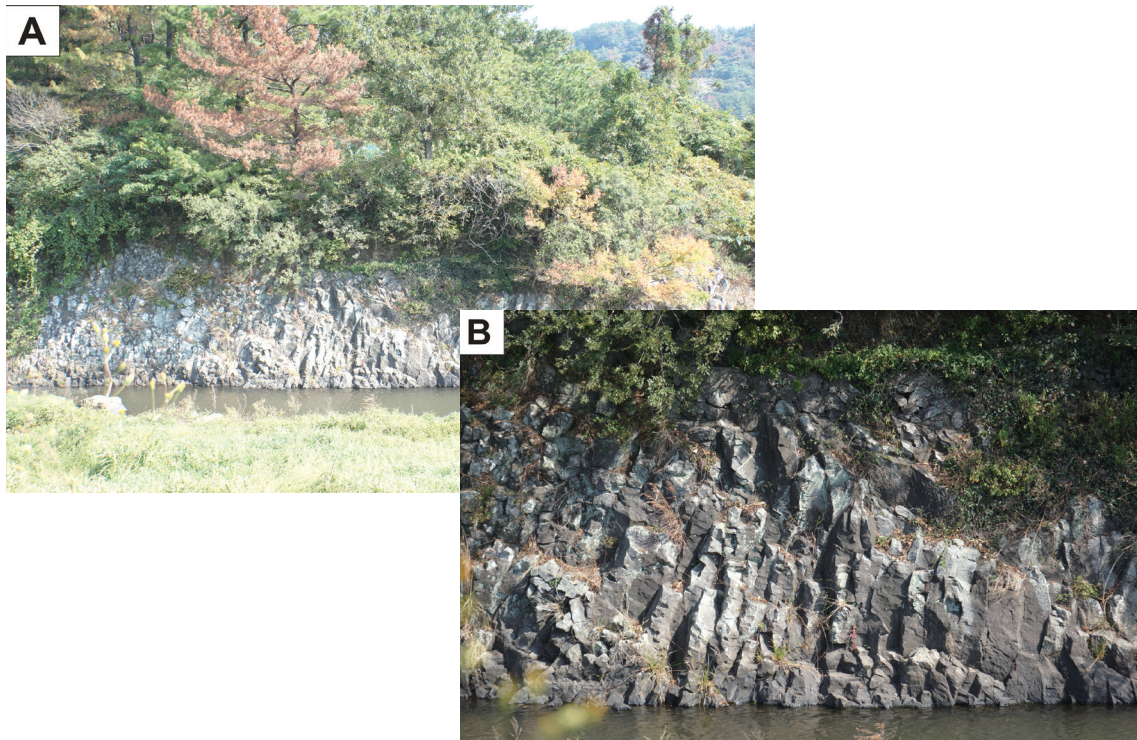
그림 6. 아아용암 하부에 공동이 만들어지는 원인을 설명한 모식도

하류구간에 대한 기존 지질조사 결과를 보면 안덕계곡 일대는 강정동 조면현무암이 분포하는 것으로 조사되어 있다. 강정동조면현무암은 암회색을 두께가 20m에 이르고 주상절리가 잘 발달며 암석은 치밀 견고한 특징을 보이는 것으로 알려져 있다. 이번 조사결과 중류구간(안덕계곡)을 구성하는 괴상의 두껍고 주상절리가 잘 발달한 용암류는 강정동조면현무암과 일치하는 것으로 추정된다. 따라서 기존참고자료나 인터넷에서 안덕계곡을 이루는 암석이 조면암 계열이라고 알려져 왔으나, 이번 조사를 통해 강정동조면현무암의 일종이며, 유사한 암석이 중문해수욕장 해안 절벽에도 분포하고 있음을 확인 할 수 있었다.

⑤ 최하류구간 : 안덕계곡-해안

최하류구간은 안덕계곡에서 해안에 이르는 약 1km 구간을 말하는데, 구성 암석이 안덕계곡과 다소 차이를 보여 구분이 가능하다. 최하류 구간은 암회색의 용암으로 구성되어 있는데, 주상절리가 잘 발달된 특징을 보인다. 용암내에 기공은 거의 나타나지 않고 치밀 견고한 외형을 보인다. 이 암석은 하천과 접하는 부분에서 오목하게 침식된 흔적을 보이는데, 우기시 강한 하천의 흐름에 의한 침식된 결과로 추정된다.

한편, 하천 반대편과 해안 주변에는 화산재가 층리를 보이는 응회암이 소규모로 분포하고 있다. 이 응회암은 저각도로 기울어져 있으며, 내부에 꽃양배추 형태의 다공질 현무암편들이 다량 포함되어 있다.



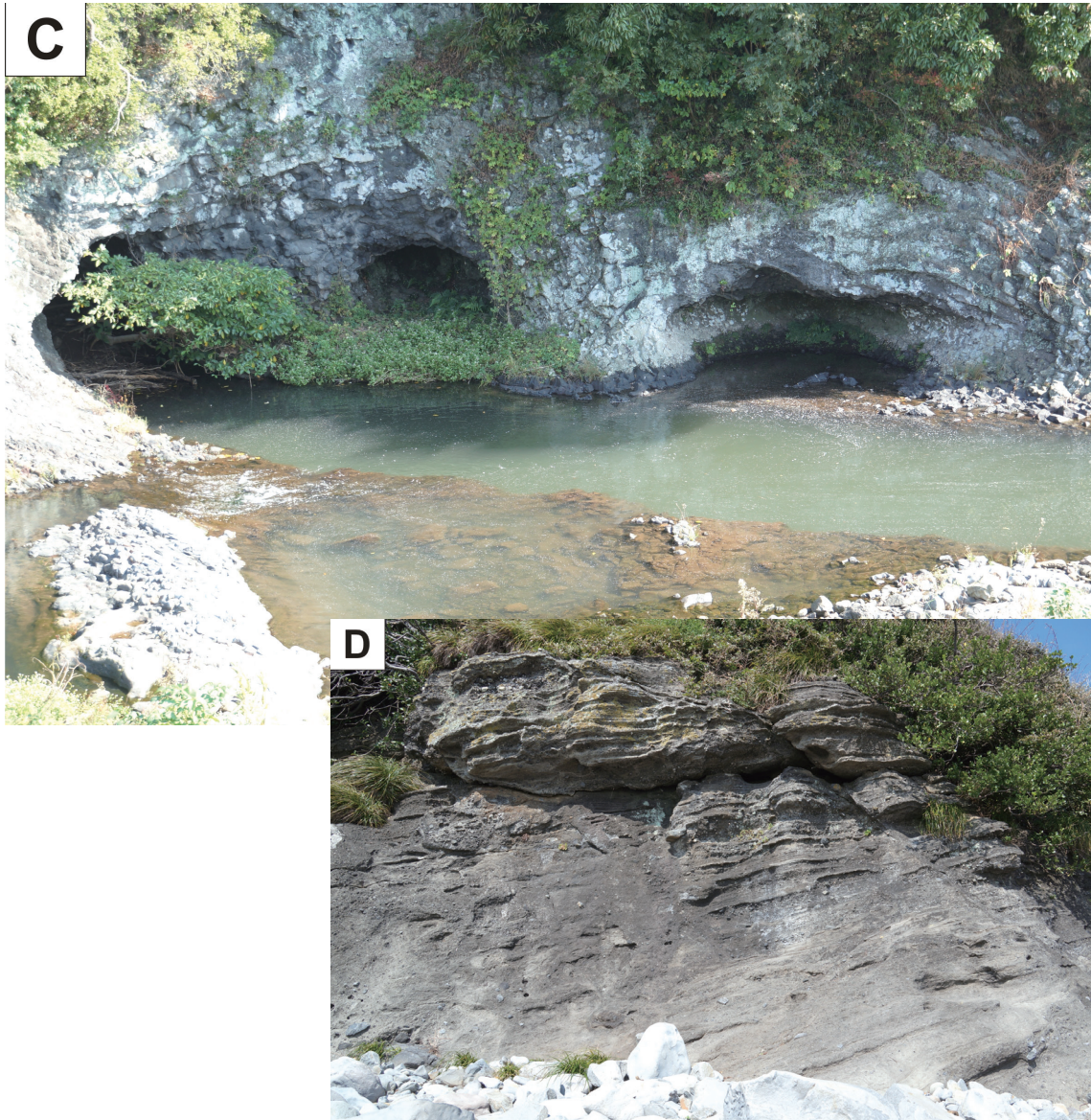


사진 10. 주상절리가 잘 발달한 최하류기간 용암류와 하천 침식에 의해 형성된 공동구조. 일부 하천 절벽면에서 관찰되는 응회암 지층

최하류 구간에 대한 기존 지질조사 결과를 살펴보면 한라산조면현무암과 이와 관련된 응회암이 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 한라산조면암은 풍화면에서 담홍색을 띠거나 담회색을 띠며, 직경이 1~2m 내외의 주상절리 발달이 두드러진 것이 특징이다. 또한 반정이 없이 치밀한 양상으로 나타나며, 장석이 반정 내지는 취반을 이루며 나타나기도 한다.

이번 조사결과에서도 최하류구간은 주상절리가 발달한 치밀한 특징을 보이고 있어 한라산조면암의 일종으로 판단된다. 또한 부분적으로 하천 단면에서 분포하는 응회암도 한라산조면암내부에 분포하는 소규모 응회암의 일부인 것으로 해석된다.

참고문헌

- 고기원. 1997. 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성. 부산대학교 박사학위논문. 325p.
- 고기원, 박준범, 강봉래, 김기표, 문덕철. 2013. 제주도의 화산활동. 지질학회지 49: 209-230.
- 국립문화재연구소. 2007. UNESCO 세계자연유산 거문오름용암동굴계의 신비.
- 박기화, 조동룡, 김정찬. 2000. 모슬포, 한림도폭 지질보고서(1:50000). 한국자원연구소.
- 윤석훈, 조성권. 2006. 제주도 서귀포층의 퇴적상과 퇴적환경. 대한지질학회지 42(1): 1-17.
- 윤성호, 이문원, 진명식. 2009. 제주도 세계지질공원 교육자료. 제주특별자치도. 112p.
- 전용문. 2013. 중문천 일대의 지형 및 지질학적 특징. 중문천의 원류를 찾아서 학술조사 보고서: 47-66. 제주특별자치도민속자연사박물관.
- 제주도. 2000. 서귀포, 하효리도폭 지질보고서(1:50,000).
- 제주도. 2006. 제주도지.
- 제주특별자치도. 2009. 세계지질공원 신청대상지 학술조사 보고서.
- 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., 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 Sagye 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.