

화성암과 제주도의 용암동굴 연구

동국대학교 교수 · 학회 상무위원장 권 동 희

I. 서 론

암석에는 그 분류기준에 따라 여러 가지 분류방법이 있으나 일반적으로 그 성인에 의한 분류방법이 통용되고 있다.

이 분류방법은 화성암, 퇴적암, 변성암의 세분류로 되고 있다.

이는 1862년에 독일의 콜타(B. von Cotta)가 분류 제창한 것으로 현재까지 전세계에서 널리 사용되고 있는 분류기준이다.

물론 최근 20세기 중반에 와서 이들 세가지 분류 이외에 종합적으로 혼성된 혼성암(Migmatite)을 포함한 네가지 분류방법도 나오고 있다.

본 연구에서는 위 세가지 분류기준에 의한 화성암의 배태 상태 등에 관한 연구와 그리고 이 화성암체 내부의 일반적인 상태의 연구로 오늘날 세계 제1가는 단일화산 동굴인 제주도의 빌레못 동굴과 화산동굴시스템으로 세계 제1가는 만장굴시스템의 지반 구성의 화산암에 대한 인식을 새롭게 하기 위한 자료를 제공코자 하는 바이다.

그리고 본 연구는 문헌자료 그밖에 아직까지 발표 안되었던 화산암과 화산동굴 형성과의 상관성을 밝히고자 한다.

II. 화성암의 배태상태

원래 화성암은 우리가 살고 있는 지구표면의 지각을 이루고 있는 암석, 암반들을 관통해서 지표면에 나타나서 화성암의 암반을 이루거나 또는 화산 즉, 이른 바 오름등으로 되는 기반암석이다. 원래 암석의 배태상태는 화성암체의 모양, 크기, 둘러싸고 있는 다른 암석과의 관계, 그리고 이들 암석에게 미치는 영향, 그밖에 화성암 상호간의 공존관계, 화성암체의 내부구조 등을 가리킨다. 원래 화성암의 배태상태는 마그마가 땅속에서 냉각된 것인가. 지표면 땅위에서 냉각된 것인가에 따라 크게 두가지로 구분된다.

즉, 마그마가 지각을 이루고 있는 여러 암석층에 끼어 들어 땅속에서 서서히 냉각된 것을 관입암체 또는 병입암체라고 하며, 마그마가 땅위로 분출되어 급속하게 빠른 시간내에 냉각된 것을 분출암체, 또는 화산암체라고 부르고 있다.

이제 화성암층이 형성되는 크기로 본다면 다음과 같다. 인도의 데칸고원에서는 600km 사방으로 넓은 면적에 현무암이 나타나고 있다. 그리고 화강암은 대체로 넓은 면적이 분포되고 있는 것이 대부분 지역임을 보게된다

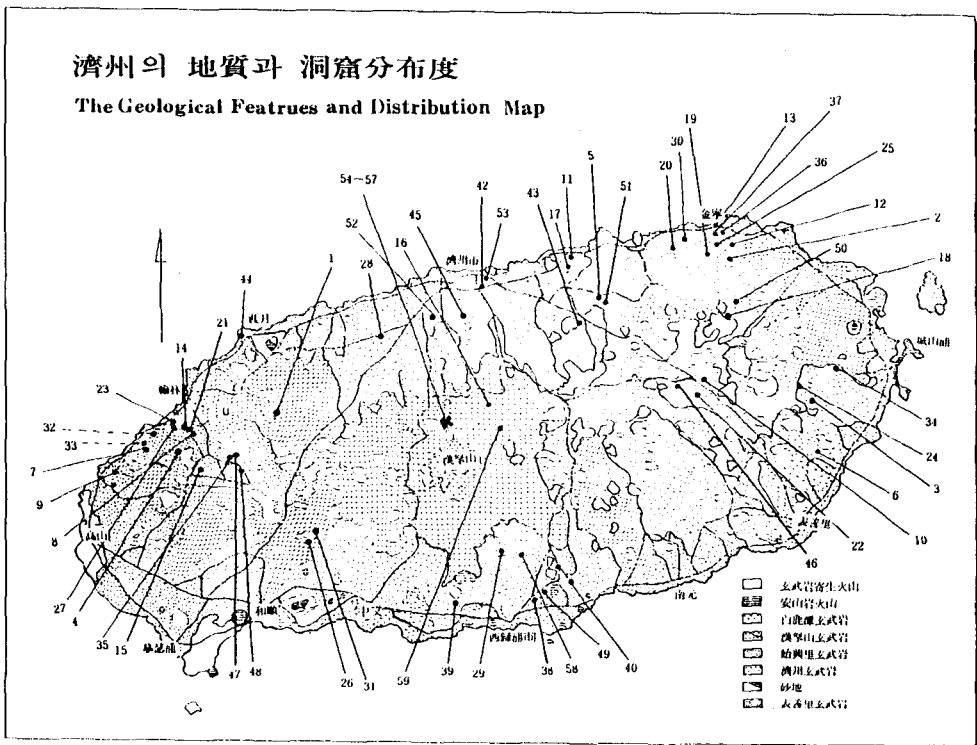
그리고 이와 반대로 화성암 중에는 몇cm 폭으로 퇴적암층 속에 가느다란 암벽을 이룰 때도 있다.

화성암의 크기는 이와같이 커다란 것에서 매우 작은 것까지 여러 가지로 구분되고 있으나 이의 크기는 주로 마그마의 냉각되는 위치나 이를 둘러싸고 있는 암석의 모양 이른바 지질구조, 그리고 마그마의 성질에 의하여 결정된다.

첫째, 이때에 관입암체의 모양은 이들 주위의 암석과의 관계로 결정된다.

화성암의 모양에는 땅속에 깊어짐에 따라 펼쳐 놓은 우산 모양과 전병과 같은 평탄한 것 등 등 여러 가지를 탐지할 수 있다. 즉, 관입암체 중에서 지층

면에 평행되고 있는 것을 평행관입 암체라고 하며 암상, 병반, 분반 등이 이에 속하고 있다. 그리고 지층에 섞여 있는 것으로는 사교관입암체, 저반암맥, 암주 등이 있다.



제주의 화산동굴 일람표 The List of Volcanic Caves

| No | 동굴명 | 길이 | 높이 | 소재지 | 암석층 |
|----|--------|---------|------|---------------|----------|
| 1 | 빌레못굴 | 11,749m | 255m | 북제주군 애월읍 어음리 | 표선리층 현무암 |
| 2 | 만장굴 | 8,928m | 125m | 북제주군 구좌읍 동금녕리 | " |
| 3 | 수산굴 | 4,674m | 140m | 남제주군 성산읍 수산리 | " |
| 4 | 소천굴 | 2,980m | 130m | 북제주군 한림읍 협재리 | " |
| 5 | 와홀굴 | 2,066m | 130m | 북제주군 조천읍 와홀리 | " |
| 6 | 미천굴 | 1,695m | 100m | 남제주군 성산읍 삼달리 | " |
| 7 | 한들굴 | 1,400m | 30m | 북제주군 한림읍 금릉리 | " |
| 8 | 초기와굴 | 1,289m | 50m | 북제주군 한경면 월령리 | " |
| 9 | 신창굴 | 850m | 20m | 북제주군 한경면 신창리 | " |
| 10 | 송당굴 | 850m | 265m | 북제주군 구좌읍 송당리 | " |
| 11 | 육티기굴 | 800m | 70m | 북제주군 조천읍 신촌리 | " |
| 12 | 금녕사굴 | 705m | 60m | 북제주군 구좌읍 금녕리 | " |
| 13 | 개우셋굴 | 88.5m | 10m | 북제주군 구좌읍 동금녕리 | " |
| 14 | 쌍용굴 | 392.3m | 30m | 북제주군 한림읍 협재리 | " |
| 15 | 옥산굴 | 391m | 140m | 북제주군 한림읍 월림리 | " |
| 16 | 구린굴 | 380m | 760m | 제주시 오등동 | 한라산 현무암 |
| 17 | 이모루굴 | 350m | 70m | 북제주군 조천읍 신촌리 | 시흥리층 현무암 |
| 18 | 덕천굴 | 232m | 155m | 북제주군 구좌읍 송당리 | 표선리층 현무암 |
| 19 | 케내기굴 | 200m | 30m | 북제주군 구좌읍 동금녕리 | " |
| 20 | 개이빔굴 | 170m | 10m | 북제주군 구좌읍 동복리 | " |
| 21 | 황금굴 | 140m | 35m | 북제주군 한림읍 협재리 | " |
| 22 | 송당굴 2 | 138m | 255m | 북제주군 구좌읍 송당리 | " |
| 23 | 재암천굴 | 114m | 10m | 북제주군 한림읍 협재리 | " |
| 24 | 수산굴 2 | 100m | 150m | 남제주군 성산읍 수산리 | " |
| 25 | 폭나무밑굴 | 100m | 150m | 북제주군 구좌읍 동금녕리 | " |
| 26 | 당오름굴 | 90.6m | 434m | 남제주군 안덕면 동광리 | 시흥리층 현무암 |
| 27 | 협재굴 | 98.84m | 20m | 북제주군 한림읍 협재리 | 표선리층 현무암 |
| 28 | 송림굴 | 367.4m | 30m | 북제주군 한림읍 금릉리 | 제주 현무암 |
| 29 | 관음굴 | 80m | 280m | 서귀포시 토평동 | " |
| 30 | 돛내폭난굴 | 80m | 30m | 북제주군 구좌읍 동금녕리 | 표선리층 현무암 |
| 31 | 당오름굴 2 | 57.7m | 370m | 남제주군 안덕면 동광리 | 시흥리층 현무암 |
| 32 | 초롱굴 | 50m | 30m | 북제주군 한림읍 금릉리 | 표선리층 현무암 |

※ 높이는 굴입구의 해발고도임.

Ⅲ. 화성암의 분류와 화산암

화성암은 이들이 배태되고 있는 장소의 깊이에 따라 구분하여 심성암, 반심성암, 화산암(분출암)으로 구분된다.

첫째, 땅 속의 깊은 곳에 이루어진 심성암은 마그마가 지하의 깊은 곳에서 지반에 관입하였을 때 서서히 냉각되므로 이것에서 입자가 커다란 광물의 결정이 하나하나 정출되어 이른바 결정광물로 이루어진 암석으로 되는 경우이다. 이들의 결정입자는 직경이 1~2mm에서 6~7mm 정도가 된다.

이와같이 암석은 심성암(Plutonic Rock, 또는 Abyssal Rock)이라 부른다.

대체로 밑바닥에 엷는 암체, 암주, 병반 등을 이루고 있다.

화강암, 섬록암, 반려암 등은 이들 심성암에 속한다.

둘째, 우리가 제주도 일대에서 흔히 보는 화산암은 지표나 지표 가까이 까지 얇은 곳에 배태되고 있는 암석이다.

마그마가 지표에 분출하거나 또는 지표 가까이 까지 분출되다가 급격하게 냉각되었을 때 이때에는 커다란 입자의 결정이 발달할 여유가 없기 때문에 대체로 섬세하고 매우 치밀한 암석이 이루어진다.

이와같은 암석을 화산암(Volcanic Rock)이라고 하기도 하고 또는 분출암(Effusive Rock)이라고도 부른다.

유문암(流紋岩), 안산암(安山岩), 현무암(玄武岩) 등은 모두 이에 속한다. 이들의 구성 광물은 모두가 결정질인 경우도 있고 일부만이 유리질의 것이 혼합되는 경우도 있는데 유리(가라스)질이란 마그마가 결정되지 않고 그대로 냉각된 것을 말한다. 때로는 반정(斑晶)이라는 마그마가 분출되기 이전에 비교

적 깊은 곳에서 서서히 냉각되고 있을 때 결정된 것으로 마그마와 함께 이루어진 것이다.

셋째 반심성암(半滯成岩)은 맥암(脈岩)이라고 하며 위에서 말한 심성암과 화산암 사이에서 보는 암석이다. 암맥(岩脈), 암상(岩床), 소규모의 병반(餅盤), 심성암체(深成岩體) 중에서 이른바 그 주위에 붙어 있는 상태로 배태되고 있다.

대체로 반정(斑晶)과 석기(石基)로 나누게 되는데 석기 부분은 화산암의 경우 보다는 치밀하지 않고 또한 유리(글라스)질의 부분도 없다. 이와같은 암석을 반심성암(Hypabyssal Rock)이라고 한다. 석영반암(石英斑岩), 휘록암(輝綠岩) 등은 이들에 속한다.

IV. 제주 동굴의 특수지형

제주도의 화산동굴은 그 규모나 분포 밀도, 그 밖의 지형, 지물의 특징에 있어서 학술적인 가치, 관광자원적인 측면에서 매우 진귀하고 소중한 것임이 여섯 차례의 한·일 합동 동굴 조사에 의해서 밝혀졌다.

현재까지 조사 보고된 기록 중에서 한림 땅의 빌레못동굴은 총연장이 11,749m로서 단일 화산동굴로는 세계 최장임이 확인되었고, 동쪽에 있는 금녕리의 만장굴도 8,928m로서 단일 화산동굴로는 세계 제4위의 동굴임이 지난 1981년 1월 제2차 한·일 합동 동굴 조사단에 의해서 확인 되었다. 그 밖에도 남제주의 수산굴, 북제주의 소천굴, 와흘굴 등은 그 규모에 있어서나 미지형의 학술적인 가치면에서 볼 때 매우 고귀한 것임이 확인 조사 되었다. 또한 지금까지는 한라산 북동사면의 만장굴을 비롯한 그 줄기의 화산동굴계(Lava Cave system)는 길이 13,268m로서 세계 제1로 알려져 있었으나, 1985년 8월에 실시되었던 제5차 한·일 합동 제주도 동굴조사에서는 한라산 북서사면의 협재 화산동굴계(협재 Lava Cave system)가 화산동굴계(Lava Cave system)로서는 세계 최장인 17,174m임이 확인 되었다.

이와 같이 동굴이 전장이 규모면에서 세계적인 가치가 있음은 물론, 그 동굴 내에 분포하고 있는 특수한 지형, 지물들은 더욱 가치있는 것들인데, 여기에 그 특수 지형지물을 소개하면 다음과 같다.

1. 용암주

용암동굴에서 볼 수 있는 석주는 석회동굴(종유굴)에 볼 수 있는 것과는 그 성인면에서 다르다. 즉, 석회동굴에서는 대체로 1차로 동굴이 형

성된 후에 오랜 시간을 두고, 지하수에 용식된 방해석 성분이 퇴적되어서 형성되지만, 용암주는 1차로 동굴이 형성된 후에 다시 그 상층에 2차로 용암류가 흘러 내릴 때, 1차에 형성된 동굴의 천정을 뚫고 흘러 내려온 용암류가 바닥에 흘러 내리면서 그대로 냉각 고결되어 형성된다. 대표적인 것으로는 만장굴 제2입구에서 제3입구로 가는 도중 1,000m 지점에 있는 용암주를 들 수 있는데, 그 높이가 7.6m로서 세계 최장으로 알려져 있으며, 현재는 관광객들에게도 공개되어 관광자원으로서도 커다란 역할을 차지하고 있다. 이의 성인은 천정부에서 흘러 내려온 2차의 용암류가 천정부의 약한 부분을 뚫고 잔류용암이 밑으로 흘렀는데 이때 하층 바닥의 용암위로 덮혀 있는 점과 퇴적으로 높아짐에 따라 상·하류 두 방향으로 흘렀으며 그 보다 더 고결되고 거친 용암 공급량이 줄어들면서 서서히 쌓여감에 따라 탑상의 용암주가 형성되었다고 생각된다.

2. 용암구(Lave Ball)

용암구란 용암의 유동이 계속되고 있을 때에 천정부에서 떨어진 용암괴나 측벽부에 부착되었던 용암선반이 유동하는 용암류 위에 떨어져 흘러가다가 용암량이 줄거나 속도가 느려져서 그대로 냉각 고결된 것이다.

대표적인 예로서는 현재 관광객에 공개된 일명 거북바위(만장굴 소재)라는 것이 있으며, 이것 외에도 만장굴에는 21개의 용암구가 분포되어 있다. 가장 거대한 것으로는 빌레못동굴 내에 있는 것으로 높이 2.5m, 장경 7.2m, 단경 5.2m에 달한다. 이외에도 수산굴, 와흘굴 등에도 다수의 용암구가 분포되어 있다.

3. 용암교(Lava Bridge)

용암이 유동될 때 그 바닥을 이루고 있던 바닥면이 그대로 냉각되어 남게 되는데 다시 용암바닥이 침하되어 상하층의 여러층을 이룰 때 중간의 냉각된 윗바닥을 용암교라 한다. 만장굴에는 대소 15개의 용암교가 분포되어 동굴의 형성과정을 말해주는 좋은 자료가 되고 있는데 수산굴 속에서는 길이 140m, 폭이 5m 되는 세계 제1가는 용암교가 발견되었다. 그리고 현재까지 만장굴 속에서는 삼층구조의 용암교가 발견되어 이목을 끌었다.

4. 용암석순(Lava stalagmite)

용암이 흘러내려 동굴이 형성되고 있을 때 동굴천정이나 동벽부에서 그 용암의 용액이 점적되어 동굴바닥면인 바닥위에 쌓여져 석순같이 자란 것을 말한다. 빌레못동굴의 지굴인 미로굴속에는 길이 77cm의 대형 용암석순이 발견되어 세계 제1을 자랑하게 되었으며, 대체로 10cm 이하이다. 만장굴의 제1입구와 제2입구사이, 빌레못동굴의 미로굴 부근, 수산굴, 와홀굴 등의 측벽 바닥에서 많이 볼 수 있다.

5. 용암종유(Lava stalactites)

용암이 동굴을 형성하면서 아직도 고온이 계속되고 있을 때, 천정부나 측벽부에는 냉각되지 않은 용융체인 용암이 고드름 처럼 흘러 내리다가 냉각 고결되는데, 이것은 용암종유라고 하며, 석회동굴에서 볼 수 있는 것보다 그 규모가 작다. 그 형태가 고사리형인 경우와 포도상인 경우

그밖에 형상에 따라 각각의 명칭이 다르다. 용암중유의 분포는 대체로 용암석순의 분포와 일치하고 있으며, 그 규모는 제주도내의 동굴의 경우는 10cm 내외이나 빌레못동굴의 미로굴에서는 20cm 정도로 길게 자란 것도 관찰된다.

6. 미니동굴(Tube in Tube)

동굴이 형성된 후 동굴 바닥에 다시 2차의 용암이 유입하여 그 표면이 냉각하고, 그 속에 Gas 공동이나 유동공간을 형성하게 되는데 이와 같은 소형동굴을 ‘동굴 속의 동굴’ 이라 하여 미니 튜브 미니 동굴(Tube in Tube)라고 한다. 만장굴에는 내부의 곳곳에서 볼 수 있는데 빌레못동굴에서도 발견된다. 매우 희귀한 미지형으로서 그 학술적 가치가 높은 지형이다.

특히 최근에는 한·일 합동 동굴조사단에 의하여 협재동굴계에 속하는 소천굴 내부에서 길이 240m에 달하는 세계 제일가는 미니동굴이 발견되었다. 더구나 이 미니동굴의 형태가 뚜렷하여 학술가치가 크게 기대되고 있다.

7. 규산주

규산중유가 계속 발달하여 동굴의 바닥까지 연결되어 기둥을 이루었을 때를 말하는데, 세계적으로 매우 희귀한 지형이다.

제주도의 동굴중에서는 빌레못동굴에서 발견 되었는데 28cm의 화려하고도 훌륭한 규산주이다. 현재까지 이와 같은 규모의 규산주는 세계적으로 보고된 바 없다.

8. 규산화

규산화는 개스중에 용융되어 있었던 규산이 동굴의 측벽에 부착되어 이루어진 것으로 생각된다. 이러한 것들의 예로는 만장굴의 제3입구 부근과 빌레못동굴의 미로굴과 지굴에서 버섯형, 꽃잎형, 삼림형, 산호형 등의 발달을 볼 수 있다.

9. 개스볼(분기구)(Gas ball)

만장굴의 하층 막장 부근에는 크고 작은 개스볼이 부착되어 있는데 이것은 용암이 유동에 따라 가스가 농축되어 연한 용암 입자를 붙여내어 측벽부와 천정에 매달려 있으며, 밑바닥에 형성된 개스볼은 용암속에 들어 있는 가스체가 밖으로 나오다 남은 일부가 표면이 냉각되어 갈 때 부풀어 오른 것이다. 개스볼은 표면에 스며 있는 개스의 양과 온도, 압질, 압력 등에 따라 그 형태와 크기가 달라진다. 동굴내의 통로가 낮은 부분에는 개스의 작용이 활발하여 각종 형태의 개스볼을 형성한다. 국도상 용암 종유나 유방상 종유, 침상, 창상, 수지형의 종유가 개스볼과 비슷하게 천정이나 측벽에 매달려 있다. 이 때에 종유가 거의 일정 방향으로 비스듬하게 기울어진 것은 동굴내의 개스의 이동 방향을 뜻하며 이러한 것은 빌레못동굴의 입구에서 약 150cm 지점에 잘 발달하고 있다.

10. Ropy Lava(로피라바)

용암의 유동이 멎고 동굴이 형성된 무렵에 바닥면의 중앙부가 유동이 약하여지고 온도가 낮아짐에 따라 상대적으로 점착성이 높아져서 냉각고결될 무렵, 측벽부에 부착되어 있던 용암이 중력에 의해 밑으로 내려오며 따라 일면 또는 여러면으로 밀려서 파도가 일듯 포물선형의 주름을 형성하게 되는데, 이를 로피라바(Ropy Lava)라고 한다.

만장굴의 제2입구에서 제1입구로 향한 Point No 3~4지점에서 잘 관찰할 수 있으며, 마치 새끼를 꼬아 놓은 형태의 암회색 또는 적갈색의 용암으로 서로 엉겨 붙어 있으며, 어떤 것은 마치 나무줄기를 서로 엉겨 놓은 형상을 한 것도 있는데 밟으면 쉽게 부서진다.

11. 용암선반(용암붕)

용암선반은 용암이 유동하면서 그 바닥이 냉각되었을 때 바닥면의 일부가 그대로 동굴 벽에 남아서 부착되어 있음을 볼 수 있는데 이것을 용암선반이라고 한다.

이 때 벽면과 바닥에서 남아 있는 선반의 형은 일본의 화산동굴학자인 오가와(소천효덕)에 의해 A, B, B; C, D형으로 구분할 수 있는데 제주도의 화산동굴들에는 각종의 용암선반의 형을 그대로 볼 수 있다.

V. 화산암과 화산동굴

제주도의 화산도는 제3기 말에서 제4기 초에 걸친 화산활동에 의하여 이루어진 것으로 그 지질계층은 신생대 제3기말 플라이오지의 서귀포층과 제4기의 성산층, 화순층, 신양암층 등의 퇴적암층과 현무암, 조면암, 질안산암과 조면암 등의 화산암과 신생화산에서 분출한 화산 쇄설물로 구성되어 있다. 퇴적암류인 서귀포층은 서귀포의 해안지역에서 안양면의 송악산앞 해안까지 국지적으로 분포하고 있으며 성산층은 성산읍 고성리까지 분포한다.

대체로 현무암질로 구성되어 있는 화산암은 크게 12개로 구분되며 특히 표선리 현무암, 한라산 현무암, 제주 현무암, 하효리 현무암, 시흥리 현무암 등이 넓게 분포하고 있다.

특히 표선리, 한라산, 제주 현무암, 하효리 현무암은 점성이 많고 유동성이 강한 염기성의 현무암으로서 제주도 내의 용암동굴 분포에 커다란 역할을하여 왔다.

특히 동굴이 많이 발달하고 있는 표선리 현무암은 제주도의 동해안과 서해안의 저지대에서 대지상의 넓은 분포를 이루고 있다. 이 암층은 크게 다섯개의 분포지역으로 나눌 수 있다. 즉 만재굴 등이 발달하고 있는 북동지역, 와홀굴 등이 있는 북부지역, 미천굴이 있는 남동지역, 빌레못굴, 협재굴, 소천굴 등이 있는 서부지역 그리고 국지적으로 분포하는 남부해안 지역등에 분포되고 있다.

이상은 세계적인 제주도 동굴들이 주로 분포되고 있는 표선리 현무층과 용암동굴과의 분포에 대하여 고찰하였다.

사실상 제주도는 화산굴일 뿐만아니라, 특히 점착성이 약하고 유동성이 강한 알칼리성 현무암층에 넓게 분포하고 있어서 이 지역이 세계적인 화산동굴의 보

고로 되고 있다.

현재까지 발견된 제주도의 화산동굴들은 약 100여개에 달하고 있는데 그 대부분이 이 표선리 현무암층에 배태되고 있을 뿐만아니라 이 현무암층에서 발견된 동굴들의 대부분은 그 대부분이 2km가 넘는 세계적인 커다란 동굴들이다. 빌에못 동굴은 물론 화산굴, 화홀굴, 미천굴 등이 이들의 예인데 이들은 세계 제1, 2를 다투는 화산동굴 시스템으로 되는 만재굴 화산동굴계 그리고 협재동굴 시스템 등이 바로 이 표선리 현무암층에서 발견되고 있다.

한편, 한라산 현무암층이나 제주 현무암층에 발달하고 있는 동굴들은 이 암층이 유동성이 없어 매우 짧은 소규모의 동굴들이다.

VI. 결 론

요컨대 화성암은 퇴적암이 물속에서 퇴적되어 층서면을 이루는 암석과는 달리 땅속에서 분출된 화산활동으로 생성된 광석이다. 물론 이 퇴적암과 화성암이 서로 변질되거나 변성된 암석을 변성암이라고 하나 주로 한반도의 북동부 지역과 남쪽의 제주도에는 화성암인 화산암이 넓게 분포하고 있다.

특히 제주도의 화성암은 그 대부분이 유동성이 많은 화산암인 현무암층이었으므로 제주도에는 세계적인 대형 화산동굴들이 발달하게 된 것이다.

〈참고문헌〉

홍시환(1982), 한국의 용암동굴(한국동굴학회).

제주도(1987), 제주도의 화산동굴(제주도).

홍시환(1991), 한국동굴대관(삼주출판사).

정창희(1994), 신지질학 개론.