

우리나라 화산동굴의 지형구조분석

(만장굴을 중심으로)

홍 시 환*3)

1. 서론

1. 조사 목적과 동기

우리나라에서는 세계에서 제일가는 단일 화산동굴인 빌레못동굴과 화산동굴계(시스템)로 세계 제일가는 만장굴동굴계 그리고 그 길이 세계 7위에 달하는 수산동굴등 실로 세계에 자랑할 수 있는 거대한 화산동굴들을 지니고 있다.

이와같은 세계적인 동굴자원들을 우리는 그 길이나 규모에 있어서 세계 으뜸가는 것을 자랑하는데 그치지 말고 이들의 지형과 그 구조를 분석하여 이의 이용보전대책을 세울 수 있는 자료를 종합화하는 것이 시급하나 특히 오늘날 자연지형과 지물들의 합리적인 이용과 보전을 위하여 모든 노력을 다하여야 할 때이므로 여기에 만장굴을 중심으로 이들 용암동굴이 지니는 학술적 가치와 자원적 의의를 분석 규명하는 논문을 쓰기에 이르렀다.

2. 조사연구 동향

최근까지 석회동굴에 관한 연구는 국내외를 막론하고 많은 연구가 시도되고 있었으나 화산동굴에 관한 연구는 거의가 연구되고 있지 아니하였다. 사실 여태까지

* 명예회장, 안산공업대학이사장

의 화산동굴관계의 책자로서는 겨우 2권에 불과한 만큼 매우 희소한 형편이며 연구조사 결과도 아직 40편을 넘지 못하고 있는 실정이다.

3. 조사 의 범위와 연구방법

본 조사는 용암동굴의 규모와 형태 분석과 전반적인 구조분석을 시도하고 특히 세계제일의 만장굴계의 지형 및 구조분석의 테두리 안에서 연구조사를 실시하였다. 그리고 현지 측량조사방법에 의하여 이들의 미지형의 개체를 분석함으로써 그 지형적 가치성을 평가분석하는 연구조사방법을 위하였다.

4. 참고자료와 협조기관

본 조사에 있어서는 문공부발행 “한국의 동굴” 출처인 “한국의 자연동굴”과 한국동굴학회발행의 학회지인 동굴지, 이밖에 일본동굴학회에서 발행된 “케이빙”, “동인” 등을 참고하였다.

그리고 특히 현지조사에 있어서는 제주도 당국, 북제주군 그밖에 만장굴과 협재굴의 관리사무소 그리고 한국동굴학회와 건국대학교 지리조사단의 조력으로 동굴 조사의 성과를 기할 수 있었다.

II . 자연동굴로서의 화산동굴

1. 자연동굴의 종류

자연동굴의 분류에서 여러가지 방법이 있는데 주로 그 성인에 의한 석회동굴, 화

산동굴, 파식동굴, 절리굴등으로 구분 되는 것이 보통이다. 우리나라의 자연동굴은 대개가 석회동굴인 용식굴(종류굴) 그리고 침식굴인 해식굴과 하식굴 등의 세 가지로 크게 대별된다.

2. 화산동굴의 구분과 특성

발달과정으로 보면 1차동굴이라고 할 수 있는 이 화산동굴은 그 동굴이 형성한 작용으로 보아 화산동굴이라고 한다. 이 화산동굴은 화산작용으로 이루어진 화산동굴이라고 하나 이를 세분하면 다시 용암동굴과 분화구 용암수형등 셋으로 세분되기도 한다. 그러나 대부분의 경우 용암동굴이란 화산분출로 말미암아 용암유속에서 형성된 용암동굴이 대표적이며 분화구나 용암수형등은 그 규모나 형태가 미소하므로 대체로 무시되는 바가 많다. 그리고 용암동굴은 화산지형에 국한되고 있는데 이 동굴의 분포는 반드시 화산작용을 입고 있는 화산암 또는 화성암 지역에서 분포되고 있으며 모암과 동굴의 생성년령이 같고 천정이 붕락하는 경우를 제외하면 일단 화산동굴이란 동굴이 생성하자마자 바로 노화단계를 들어서게 되는 것이 특징이다.

III. 화산동굴의 형성과 지리적 분포

1. 화산동굴의 성인

이 화산지역에서는 화산이 분출할 때에 유동성있는 현무암용암에 의하여 이른바 용암동굴(lava tunnel)이 형성되는 것이다. 즉, 지하에 깊이 잠겨 있던 마그마가 그 분출의 위력에 부수되어 화구에서 지표로 밀려나온 것을 용암 또는 라바라고 한

다.

이 용암이 굳을 때에는 화구에서 넘쳐 흘러 산지표면을 따라 정상에서 산 밑으로 흘러내리기 전에 냉각되어 이른바 용암지대를 이루게 된다. 이와 반대로 점성이 낮은 용암이 화구에서 산 밑으로 흘러 내릴 때에는 이 용암을 멀리 산 밑까지 흘러 내려가 이른바 아스피테식 화산을 형성하게 되는 것이다. 우리나라 제주도의 한라산은 세계에서 모식적인 아스피테식 화산으로 알려져 있는 좋은 보기이다.

이와같이 용암이 지표면에 흘러 내릴 때 그 용암속에 용암구, 즉, 도랑을 만들게 되는데 이것을 이른바 용암동굴이라고 부르게 된다.

대체로 마그마가 지표로 분출할 때 온도는 900~1200℃의 고열 상태이나 그 표면이 외기에 접하점 점차 냉각되고 말지만, 내부에서는 외부와 같이 냉각되지 않고 고열을 유지한 채로 계속 산 밑으로 산 측면을 따라 흘러 내려가는 관계로 이 용암의 지층내부는 텅비어버린 용암구가 형성되게 된다. 따라서 마치 사람의 창자 내부와 같은 용암동굴을 이루게 된다.

이 화산활동은 대체로 유동성이 많은 용암일수록 분출된 화구의 산정부근에 퇴적되지 않고 산측으로 흘러 내려가게 되는데, 제주도의 경우는 서북과 동북 여면 지역의 소애지대에까지 흘러내린 용암류에 의하여 여기에 용암동굴이 형성된 것이다.

2. 지리적 분포와 특성

제주도내에 분포하는 화산동굴은 점착성이 강하고 유동성이 높은 알카리성 현무암층내에 발달한다. 본도내의 화산동굴은 현재 발견된 것 만도 약 70 여개에 달한다. 이들의 분포를 보면 다음과 같다. 제주현무암층에 제주시에 있는 발굴을 비롯

3개와 하효리 현무암층에 3개 각각 전동굴의 7.5%씩 해당한데 비해, 만장굴, 빌레 못굴등 80%에 해당하는 55개의 화산동굴이 대부분 표선리층현무암에 밀집되었음을 보여주고 있다.

우리나라 화산동굴의 분포는 제주도에 국한되고 있다.

제주도는 이른바 아스피테식 화산으로 느린 산지여면을 흘러내린 용암류들은 이 아스피테식 산지지형에 도움받아 많은 용암동굴의 발달을 보게 되었다고 하겠다.

즉, 볼로이테나 호마테와 같은 화산산형보다는 산지충여면이 매우 느리게 뺏은 지면에서 용암동굴은 발달되기 용이하므로 제주도에서도 산정부와 같은 고산지역에서는 발견되지 않고 있다.

즉, 사면저지대의 느린 곳에 그것도 서북사면과 동북사면지역에 집중분포하고 있는 것이다.

그리고, 제주도의 화산동굴들은 동굴의 입구들이 모두 그 천정이 함몰되어 이루어져 함몰구가 출입구로 되어 있는 것이 특징이다.

통상 화산동굴에 있어서는 그 출입구가 가스 폭발로 인하여 구멍이 뚫어져 동굴 입구가 생기는 것인데 우리나라의 것들은 이와 같은 원인이 아니고 풍식작용으로 인한 천정함몰인 것이다.

그리고, 제주도 동굴의 공통적인 특징의 또 하나는 그 생물상 중에서 가장 많은 것이 “작은 거미”들이다. 동굴생물학자인 남궁 준은 이것을 “제주도 꼬마 거미류”로 이름짓고 있는데 반도부의 꼽둥이, 노래기 등의 생물상의 특성에 반하여 이질성을 나타내고 있는 것이다.

그리고 진동굴성이나 호동굴성의 종류보다도 외래성이 많은 것은 역시 제주도의 화산동굴들의 역사가 아직 새롭다는 것을 말해 주고 있는 것이다.

IV. 화산동굴의 구조적 특성

1. 화산동굴의 형태구조

화산동굴의 형태는 대체로 단조롭다. 이들 화산동굴은 그 용암의 유출, 고결 및 공합과 밀접하게 관계되고 있는데 대체로 원류형을 이루며 단일형에 하류부에 가면서 가지굴이 형성되는 경우가 많다. 그리고 동굴의 밑바닥도 평탄한 지표상을 흐르는 하천유로의 하상에서와 같이 완만하다.

물론 때로는 2개이상의 형태구조를 이루는 곳도 있는데 이는 그 용암의 유출시기가 각각 다르기 때문에 이루어진 현상이다.

한편 용암터널의 경우, 용암류의 흐르는 방향에 따라 형성되며 지표면의 측여균배와 크게 관계된다. 그리고 그 용암의 두께가 두터울수록 대규모의 동굴이 형성되기도 한다. 만장굴과 협재굴, 금녕사굴과 같이 대형동굴들은 그 대부분이 단조롭고 직선적인 동굴로 나타나고 있는데 대규모의 용암류의 경우에 형성된다.

2. 화산동굴의 미지형구조

(1) 미지형의 생성원인

지반내부에서 암질(마그마)이 지표를 흘러나와 용암이 되었을 때 이 용암류는 분화구로부터 서서히 산밑을 향하여 흘러내리게 된다. 이때 이 용암류는 지표의 측면구배가 느리면 느릴수록 유동하는 속도도 느리게 되고 반면 지표의 측면구배가 급하면 급할수록 지표를 유동하는 용암류는 빠른 속도로 유출된다. 물론 이때에 그 용암류의 점착성이 큰가 적은가의 상태에 따라 그 유동속도는 달리 나타난다. 그리고 이들이 지표를 유동할 때 대기와 지표면의 지온관계로 용암류가 냉각하며 고결하게 되는데 바로 이때에 동굴은 물론 각종 미지형이 형성되는 것이다.

특히 용암유출시에 지표면에 요지가 있을 경우에는 이 위를 덮게 되므로 용암층은 두껍게 나타나며 용암의 농도가 짙거나 유출용암이 유동성이 느릴 때에도 용암층은 두텁게 된다.

(2) 화산동굴의 특수미지형

이와같은 경우 천정에서 또는 측벽에서 용암이 흘러내리면서 그대로 식어버려 굳어졌을 경우 용암종유라고 하는데 여태까지 기록에는 40~50cm 길이가 최장으로 되고 있는데 우리나라의 수산굴에는 77cm가 보고되고 있다.

또한 측구나 용암봉(선반) 위에 위의 천정부나 측벽에서 용암이 흘러 떨어져 그 밑에 쌓여져 있을 경우 이것을 용암석순이라 하며 여태까지는 10cm 내외가 보고되고 있다.

물론 용암종유와 석순이 연결되어 기둥을 이루고 있을 경우가 용암석주인데 만장굴의 용암석주는 7.6m로 단연 세계제일의 용암주임이 밝혀졌다.

V. 만장굴동굴계의 형태구조 분석

1. 만장굴의 규모

만장굴동굴시스템은 세계최장의 화산동굴계임이 확인되었다. 즉 총연장은 13,269m로 지금까지 국제공인된 최장의 동굴기록인 미국의 싱글·라바 시스템의 11,344m 보다도 1,925m나 더 장대한 화산동굴계임이 확인된 것이다.

1977년 제1차 제주도 한일합동동굴조사 당시에 100,068m로 측량되었던 만장굴은 이제 새로이 발견된 주굴의 연장부분과 상층부 및 지굴 등으로 인해 이제는 세계

의 이목을 끌게 됐다.

만장굴시스템 13,269m의 길이를 세분한다면 다음과 같다.

만장굴 본동의 전장은 8,928m로 확정되었고, 주굴의 계속부분인 금녕사굴의 전장이 중간지속부까지를 가산하여 705m, 만장굴과 금녕사굴과의 중간연결거리가 180m, 그리고 개우셋굴의 전장 414m, 이밖에 금녕절굴, 금영발굴, 사기알굴, 쾌내기굴과 이들동굴의 해안연안으로 뻗어내린 세줄기의 침투부까지를 합해 2,042m가 된다.

만장굴 본동의 길이만은 8,928m로 이것만 가지고도 단일동굴로서의 세계 제4위가 된다. 현재까지의 기록으로 세계제일은 아프리카 케냐에 있는 리바아산굴(Africa Kenya의 Leviathan굴)의 11,122m이고, 제2위는 미국 하와이에 있는 카즈트라굴(U.S.A의 Kazumura굴)의 9,994m이다.

그리고 만장굴 본동의 길이가 제1차 한일합동제주도동굴조사 당시 확인됐던 6,900m보다 2,028m가 늘어난 이유는 다음과 같다.

지금까지는 만장굴의 상층부가 1층과 2층의 2개층으로만 알려져 있었으나, 이번 조사로 3층, 4층, 5층까지에 달하는 다층구조임이 밝혀져 이들의 길이가 가산됐고 또 지굴(가지굴)이 새로히 발견되어 길이가 늘어났고, 동굴 끝머리에서 다시 연장부분이 드러나 이것도 가산된 것이다.

그리고 1층 주굴의 길이는 한국동굴협회가 이미 측량하여 문공부에 보고한 5,127m를, 다시 확인하려고 간이 측량법으로 측량하였던 바, 그 길이에 틀림이 없었으므로 그대로 계산했다.

그리고 이번에 새로이 발견된 지굴이나 주굴의 연장부분의 측량도를 작성하여 이것을 고증하는데 사용하려고 보관하고 있다. 지금까지 알려진 대부분의 화산동굴은 2층으로 되어 있는 것이 보통이었는데 이번에 만장굴이 5층에까지 이르는 다

층구조임이 발견되어 이례적인 것이 될과 동시에 길이에 있어서도 세계제일로 부상된 것도 자랑할 만하다.

2. 만장굴의 지질 및 지형구조분석

(1) 지질구조적 특성

만장굴은 신생대 제3기말에서 제4기초(150~250만년전)에 걸쳐 있었던 화산활동의 분출로 형성되었다. 특히 이 만장굴지역은 제4기초의 2기분출시에 본도 전역에 널리 분출 분포한 표선리현무암층이다. 이 표선리현무암층에는 화성단층암층을 삭제시키고 있는데, 이 암층의 두께로 보아 원종관교수는 16회 이상의 용암분출이 있었다고 보고 있다. 어떤 화성단층암층은 11m 두께의 암층도 있어서, 과연 대규모 동굴형성을 가능케 하고 있음을 나타내고 있다.

(2) 지형구조 및 특성

한라산 동북사면을 느리게 뺏어내린 산동지역에 이 만장굴이 있으므로 만장굴은 대규모적인 화산동굴이 발달할 수 있는 유리한 지형적 바탕에서 태어난 것이다. 그리고 해안의 연안저지대에는 용암류가 사방으로 방류되었으므로, 수 많은 군소 화산동굴들이 곳곳에 분산 발달되고 있다. 그리고 용암류가 말단부, 즉 연안저지에 이르러서는 얽은 층을 이루었기 때문에 곳곳에 상류부가 형성되어 있다. 동금녕리 일대에 있는 금녕사굴계에 해당되는 수많은 상류부는 모두 이와 같은 얽은 용암층이 침투된 것이라고 보여진다.

분화구에서 분출된 용암류가 저지대를 급류하면서 이루어진 만장굴동굴계는 하부에 있어서는 자유사행하는 크고 작은 S형의 동굴을 형성하고 있다.

그리고 연안일대에는 해풍에 패사가 실려오므로써 지표면에 토사층이 퇴적되어, 만장굴화산동굴은 이 토사층밑을 복류하고 있는 셈이다.

만장굴화산동굴계는 대소 50개의 개스공동의 결합으로 이와같은 장대한 동굴이 형성되었는데, 제1입구에서 끝머리까지 8개소, 제2입구의 통로중에서 하층부에 25개소, 상층부에 4개소, 모두 29개소의 공동 흔적을 볼수 있고, 전부 합해 50개소의 개스공동의 결합으로 된 것으로 보는 것이다.

앞에서 말한 단층암층에 의하여 추측되듯이, 이 지역은 대규모의 용암유출로 초거대급의 화산동굴인 만장굴이 다층구조의 동굴을 형성하고 있는 것은 용암의 유출이 여러 차례에 걸쳐서 있었다는 것을 나타내고 있다고 보아야 하겠다.

게다가 동굴이 초거대급이기 때문에 대규모적인 특수지형이 발달할 수가 있었다. 앞에서 말한 바와 같은 세계적인 특수지형이며 세계유일의 용암석주 같은 것이 존재하는 것도 그 때문이다.

이밖에 각종용암동굴지형들이 존재하는데, 예를들면 석회종유, 용암종유 등이다.

3. 만장굴내부의 특수지형

이제 세계제일로 밝혀진 것을 들자면 먼저 크기가 7.6m에 달하는 거대한 용암석주가 세계제일임을 자랑하고 있고, 둘째로는 대형용암구가 밀집분포되어 있는데 이것 역시 세계적인 규모이다. 즉 세계 어느 화산굴에도 3개 이상의 용암구를 갖고 있는 곳이 없는데 이 만장굴에는 총수 21개에 달하는 대형용암구가 있는 것이다. 셋째로는 용암교의 규모와 그 밀집수에 있어서도 놀랄만한 것으로, 뚜렷한 용암교의 수효는 15개소나 되고 상층부에 11개소 하층부에 4개소로 나누어져 분포되어 있다.

이밖에 이번 조사에서 세계적인 수준에 속하는 특수지형으로 밝혀진 것을 든다면 다음과 같다. 첫째로 이 만장굴 안에는 A, B, B', C, D형등 갖가지 용암봉(선반)이 존재하고 있는데, 특히 A형의 용암선반은 세계에서 매우 보기드문 것이다. 그리고 여기의 B' 형의 용암선반은 그 규모가 세계적인 것으로 나타나 있다. 둘째로 크고 작은형의 Tube in tube(일명 minni tube) 2개 지점에서 발견되었는데 이것 역시 세계적으로 희귀한 것으로 오늘날까지 알려져 있기로는 미국에 1개, 일본에 2개 그리고 조천굴에 1개로 도합 6개밖에 없는 것이었다. 그러므로 만장굴에서 2개가 추가되어 세계의 Tube in tube의 수는 8개로 늘어나는데, 그중의 3개가 우리 제주도에 있는 것이다. 세째로 천정의 높이가 단층만 하여도 18.1m이고, 상층까지의 연장 높이는 실로 25m에 달하고 있어, 이 화산동굴의 대규모적인 형성과 상태를 여실히 말해주고 있다. 네째로 5층이나 되는 다층구조의 화산동굴이라는 점도 특수한 것으로 세계적으로 보기 드문 현상이다. 3, 4, 5층이 비록 소규모적이긴 하지만 그래도 동굴구조상의 뚜렷한 특성을 나타내고 있다.

한편 종류 미상의 동굴광물이 발견되었는데 그것은 백색분상의 점토로 보여지지만 자세한 것을 알 수 없으므로 성분분석을 의뢰하고 있다.

4. 만장굴의 미지형분석

이제 논문중에서 중요지형 지물에 관한 내용을 소개하면 다음과 같다.

즉 용암동굴의 형성과정을 판단하는 자료는 용암주, 용암반선과 용암교, 용암종유의 형상과 그외 용암구(Lava Ball)과 gas Boll, 용암관(Lava strow)등과 천정부, 측벽부 및 동굴바닥과의 관계에서 종합적으로 관찰에 의해서 얻을 수 있다. 그러면 만장굴내부에 나타난 특수지의 미지형을 고찰해 본다.

동굴 55호

(1) 용암석주

만장굴 제2입구에서 제3입구로 No.21 지점에 세계유일의 양립된 높이 7.6m의 용암석주가 있다. 이것은 천정부에서 흘러내려온 2차 용암류가 동굴의 천정부가 거의 고결될 무렵 부드러우면서 된 용암류가 흘러내리면서 천정부의 약한 부분을 뚫고 밑으로 흘렀는데 이때 하층 바닥의 용암위로 덮혀 점차 누적으로 높아짐에 따라 상·하류 두 방향으로 흘렀으며 그보다 더 고결되고 거칠 거칠한 용암량이 줄어들면서 서서히 쌓여감에 따라 이뤄진 탑상의 용암주가 되었다고 본다.

(2) 용암교

용암교는 동굴형성과 그 발달과정을 잘 밝혀주는 귀한 자료가 되겠다. 만장굴에는 크고 작은 용암교(Lava bridge)가 15개가 있고 각종현태의 용암반(선반) 상하층 어느곳이든 볼 수 있는 흔적이다. 용암반은 1차 용암류에 의한 것인지 2차 용암에 의해 형성되었는지는 그 형태와 색채를 유심히 관찰해 보면 1차 용암류는 대체로 흑청색 또는 암갈색에 매끈한 면을 하고 있는 반면에 2차 용암은 적갈색 또는 검붉은 색으로 꺼칠 꺼칠한 점을 찾아볼 수 있다.

용암의 동굴내 1차이후의 유입은 하층굴로만 유입하여 유동한다고는 할 수 없을 것이다. 또한 동굴내 가득히 2차 용암이 가득히 채워 유동한 부분은 천정부에 2차 용암에서 관찰된다.

(3) 용암선반

용암선반은 상면유동 용암의 체류시간이 길면 표면은 공동내의 수증기와 가스의 영향으로 상면이 고결되는데, 측면부가 먼저 냉각되어 측벽에 돌출부분을 남긴다. 이것이 용암선반이며 이때 더욱 장시간이 경과시 표면이 고결되어 용암교(Lava

brige)를 형성케 되며 이같이 유동용암이 체류시간에 따라 측벽부에 부착한 용암의 두께나 상면의 용암교의 두께를 결정지우며 따라서 다층동굴인 만장굴의 형성 과정을 말해 준다.

용암선반 발달과정과 형태도 다양하다.

유동용암이 상면 체류시간이 길어 일시적으로 용암교가 이뤄졌다가 나중에 낙하여 용암류에 흘러간 곳의 형태와 용암류의 흐름이 만루되는 지점의 바깥쪽은 급류에 의해 높이 그리고 급히 휘어진 수량이 발견되며 이런 곳의 안쪽 퇴적사면에 여러개의 접시를 포개어 뒤엎어는 거북모양인 형태를 만장굴에 입구 부근과 2층굴 No. 21~No.24지점에서 2개소에서 발견되었다. 이것은 건설서면에 퇴적된 용암이 굳어 냉각하면서 용암량 감소에 따라 밀려온 용암이 휘감들며 스쳐간 원형의 수량이 직경 3mm~6mm의 작은 gas Ball을 이룬것이다. 이것은 외측보다 냉각이 먼저 이뤄졌다고 본다.

(4) 용암구

용암구(Lava Ball)는 천정부에서 낙하한 용암괴가 유동하는 용암류 위에 떨어져 흘러가다가 용암류의 유속이 줄거나 작은 규모는 매끈한 기복이 남지만 규모가 큰 것은 밑부분만 매끈해진다. 이 용암구 상면에 각기 다른 빛깔과 부착물이 다른 것은 용암구의 유동시 다른 위치에서 천정부의 용암이 용융낙하된 것이 부착된 것이다. 이러한 용암구들은 모두가 동굴내 중앙부분에 머물러 있다. 만장굴에서 21개의 Lava Ball 중 거북바위(구암)에서 정교롭게 느껴진다.

(5) 분출종유(개스볼)

만장굴의 하단막장부근에는 크고 작은 gas Ball이 부착되어 있는데 이것은 용암

이 유동에 따라 gas가 농축되어 변한 용암의 입자가 붙어내어 측벽부와 천정 및 표면에 gas Ball이 나타나는데 표면에 스며든 gas의 량의 정도와 팽창에 따라 크고 작은 gas Ball을 형성하는데 이러한 gas Ball이 종유석에 달라붙어 마치 포도 모양의 포도상용암종유를 형성하기도 한다. 이때 종유가 거의 한쪽으로 비스듬히 기울어진 것은 동내 gas의 유동방향을 뜻한다.

(6) 승상용암류

만장굴의 2입구에서 1입구로 향한 상층굴에서 No. 3, No. 4지점에서 승상용암을 발견할 수 있을 것이다. 마치 새끼를 낳은 형태의 용암으로 암회색 또는 적갈색으로 이뤄진 것이 있는데 암회색의 승상용암은 직경 5cm 내외의 빗줄을 서로 엉겨 놓은 모습을 보이고 있는데 밟으면 부서질 가능성이 크다. 이것은 그림에서 보여 주듯 용암유동이 멎은 후 측벽에 비해 중앙부가 작게 유동할 때 측벽부에 부착했던 용암이 중력에 의하여 밑으로 내려옴에 따라 일면 또는 양면에서 압력을 받아 파도가 일 듯 동심원상의 주름을 만들게 된 것이다.

(7) 튜브인튜브(미니튜브)

2차 용암류 유입후 표면은 고결되었지만 내부의 용융상태의 유동용암이 흘러버린 곳은 작은 규모의 동굴을 형성하고 있다. 바로 이 Tube in Tube의 성인이 대 규모 동굴의 성인을 밝혀주는 것이라 보겠다. 만장굴 No. 51 지점에 두 곳이 발견되었다.

(8) 규산화

만장굴에도 3입구 부근 No. 87, No. 91에서 측벽부에서 찾아볼 수 있는데 이것

은 용암중에 구릉의 화산 가스층에 석화, gas에 의하여 융합되어 수증기 압력으로 불려 부착되어 이뤄진 것으로 본다.

Ⅵ . 용암동굴의 이용과 보전

1. 용암동굴의 과학적 실용화

먼저 1812년에는 영미전쟁 때에 화약용 초석의 부족 때문에 많은 동굴이 발굴되었다.

그리고 Arizona 주의 Badd동굴에서는 비료용 Guano의 채굴이 아직까지도 계속되고 있다.

한편 제주도의 화산동굴에서 과거에는 양송이 재배지로 사용되기도 하였으며, 연구결과로는 치즈의 성숙을 위한 비축장소로도 그 밖에 고층건물의 공기조절을 위하여서도 동굴내의 일정한 공기가 이용된 사실이 있다.

무엇보다도 동굴의 이용은 국민소득을 올리기 위한 관광자원으로서의 이용이다.

참으로 동굴은 일광이 스며들지 못하고 온도가 사실상 연중 거의가 일정하여 각종 연구소로서 적합한 곳이다.

그리고 파종은 물론이고 각종 식물의 재배실험 각종 곡류의 저장 또는 배양실험 이밖에도 각종 물자의 보관 등을 위한 동굴의 이용이 기대할 수 있는 방도의 하나인 것이다.

그리고 강원도 지역에서는 감자의 저장월동 제주도에서의 고구마, 양파의 저장 그밖에 도시근교에서의 조기작물이나 농작물의 저장으로 적기에 수요지에 공급할 수 있어 소득을 올릴 수 있게 할 수 있는 것이다.

2. 화산동굴 보전

동굴의 보전은 지형구조의 현상유지는 물론 자연경관을 훼손시키지 않고 환경이 보전되는 동굴생물의 자연보호가 주로 된다. 물론 이밖에도 각 분야에 걸친 자연보전의 의의가 있다고 하겠으나 동굴이 지니고 있는 특수환경 때문에 조성되는 2차 생성물과 그속에 서식하고 잇는 동굴생물들의 보전이 가장 주입무가 되고 있다.

특히 화산동굴은 석회동굴과는 달리 이차 생성물이 거의 없다고 할 수 있다. 즉, 석회동굴에서와 같은 종유석과 석순, 그리고 석주, 유석, 그밖에 많은 미지형과 지물들이 화산동굴 속에서는 보기 드물다. 예를 든다면 용암종유의 경우를 보더라도 세계에서 가장 긴 77cm의 용암종유가 이번에 만장굴에서 발견되었는데 일반적으로는 10~15cm에 불과하며 그 수효도 매우 적다. 그리고 용암석순의 경우에도 10cm내외에 제한되고 있는 형편이므로 화산동굴 속의 2차생성물의 회귀성은 재언을 요하지 않는다.

따라서 이 적고 작은 이차생성물의 자연보전은 가장 긴요한 일이라 할 수 있다.

다음 동굴생물의 경우에 있어서도 석회동굴의 경우에는 지하수동이 일차적인 생성이므로 곳곳에 많은 지하수가 동굴내부에 있어 생물서식에 좋은 환경을 이루고 있는데 반하여 화산동굴의 경우에는 현무암층인 관계로 동굴내부에서 지하수는 보기 드물다. 따라서 진동 생성물들이 적은 상태이다.

사실상 동굴환경이란 그 규모와 형태에 크게 관계된다. 오늘날 세계에는 30m이상의 화산동굴이 전체로 약 550개소가 있다고 보고되고 있는데 우리나라에서 이 기준으로 따지면 우리나라에서만도 100개소 이상이 될 것이다. 여태까지 국제동굴학연합회의에 보고된 우리나라의 화산동굴은 대체로 100m이상인 23개소만 등록되

고 있는데 앞으로 많은 수자가 늘어날 것이 예상된다.

이와같이 우리나라는 대형용암동굴의 분포지로 알려져 있는데 이와같은 대형동굴에서의 환경보존은 비교적 용이한 일이라 하겠다.

물론 대형동굴이라 할지라도 동굴환경의 보전을 위하여서는 만장굴에서와 같이 일부지역만의 관광개발이 필요한 것이다.

그리고 보전지역을 설정하여 이 지역에서의 일반인의 출입을 삼가게하여 동굴환경의 보전을 기하여야만이 자연경관의 보호는 물론 생물환경도 그대로 유지되는 것이다.

또한 구조물의 설치자재에도 외국에서는 크게 관심을 두고 있다. 되도록이면 국제같은 것을 사용하거나 플라스틱 자재를 이용하여 생물의 서식환경에 유의하고 있음을 본다.

한편 온도와 습도조절에도 많은 관심이 기울여져야 한다. 외국에서는 외기의 흡수를 방지하기 위하여 이중문을 설비한 곳도 있다. 또한 박쥐의 출입을 위하여 철강으로 개수 설비한 점도 중요한 일이다. 그 밖에도 일본 같은 곳에서는 관광객의 출입 때문에 동굴 내부의 설비된 빙주가 녹아버리므로 인조빙을 투입하여 동굴내의 환경조화에 대처하고 있음을 본다.

결과적으로 화산동굴은 생성과 동시에 즉시 노화의 과정을 밟는 것이 특징이다. 그러므로 이상과 같은 희귀한 이차생성물과 동굴 생물의 자연보전은 우리들에 부여된 당면과제라 하겠다.

Ⅶ. 결 론

이상에서는 화산동굴이 어떤 것이며 이들의 생성원인과 그 분포를 조사하였다.

특히 화산동굴의 일반적인 구조형태를 분석 규명하고 이 구조속에서 생성된 미지형의 구조를 분석하였다.

그리고 금번 조사에서 세계에서 최장의 화산동굴로 확정공인 받게 된 만장굴의 형태와 규모는 물론, 그 규모, 지질 및 지형, 특수지형 지물들에 대한 치밀한 분석을 시도하였다.

더구나 동굴의 현대적인 이용과 과학적인 실용화를 위한 대책수립과 개발이용에 병존되어야 할 자연보전을 위한 대책의 수립을 위하여 이들의 미지형, 특수지형의 구조분석과 분포에 주력함으로써 일반 화산동굴의 개발과 오전대책수립에 자료가 되도록 연구 조사하였다.

요컨대 본조사에서는 지형구조를 명시하는 만장굴의 측량도를 작성 수록하였고 미지형과 특수지형의 분포도까지도 작성하는데 성공하였다.

또한 이번 조사연구에서 화산동굴의 분포도는 완성되었으며 이와같은 자료를 바탕으로 동굴의 보전관리를 위한 대책을 수립할 수 있게 하는데 노력하였다.

참 고 문 헌

- 홍시환(1979) 한국의 자연동굴, 금화출판사 p. 126.
- 박병수(1981), 제주도 용암동굴의 성인과 특성, 동굴 7, p.16.
- 소현효덕(1981), 만장굴조사보고, 동굴 7, p.40.
- 문화공보부(1971) 한국의 동굴, p.58.
- 남영승(1981) 제주도 봉암동구군의 동굴상과 그 환경, 동굴7, p.25.
- 원종관(1981) 제주도의 형성사, 동굴 7, p.3.
- 이수진(1918) 제주도 기생화산의 형성과 분포에 관한 연구, 동굴 7, p.9.
- 신유영(1982) 한국의 용암동굴, 한국동굴학회, p.71.