

하와이 섬의 화산 규모와 용암동굴

황상구^{1*}, 이문원², 우경식³

¹안동대학교 지구환경과학과(hwangsk@andong.ac.kr)

²강원대학교 지구과학교육과

³강원대학교 지구환경과학부

1. 서 언

하와이 제도의 3개 활화산은 1916년 8월 국회 법안에 의해 하와이 국립공원으로 되었다. 이 공원은 하와이 섬의 킬라우에아(Kilauea)와 마우나로아(Mauna Loa)의 일부와, 마우이 섬의 할레아칼라(Heleakala)를 포함하였지만, 1961년에 하와이화산 국립공원과 헬레아칼라 국립공원으로 분리되었다. 하와이화산 국립공원에 포함되는 킬라우에아와 마우나로아는 지구상에서 가장 크고 가장 활동적 화산 중의 하나이며 화산의 자연미를 잘 나타내고 있다.

하와이 섬에서 관광객들은 분출장면에 접근하여 가까운 거리에서 안전하게 많은 활동 장면을 볼 수 있다. 특히 킬라우에아 분출은 지금도 어려움 없이 접근할 수 있어 사람들을 불러들인다. 뿐만 아니라 세계에서 가장 긴 용암동굴이 있어서 이에 대한 탐방객도 매우 높은 편이다.

2. 지질학적 배경

하와이 군도는 섬들과 해산들이 체인을 형성하면서 500 km 이상 뻗는다. 이 군도에서 하와이 제도는 광활한 태평양의 해저에서 수많은 화산분출에 의해 솟아오른 큰 화산 산맥의 상단부이다. 이들 섬의 체인 주변에서 해양의 평균심도는 5,000 m 이상이기 때문에 가장 낮은 섬이더라도 높이 치솟은 뾰족한 산맥을 형성한다. 하와이 섬에서 마우나케아(Mauna Kea)와 마우나로아는 해저의 기반 위에서 10,000 m 정도 솟아있으며, 마우나케아는 해저의 기반에서 측정할 때 태평양에서 가장 높은 봉우리이며 세계에서 가장 높은 산이다.

3. 하와이 화산의 규모

하와이 섬은 하와이 제도의 최남동에 놓이고 가장 젊으며 코할라(Kohala), 마우나케아(Mauna Kea), 후알랄라이(Hualali), 마우나로아(Mauna Loa), 킬라우에아(Kilauea) 등의 5개 화산으로 구성된다.

코할라 화산은 하와이 섬에서 가장 북쪽에 위치하고 최고기 화산이고 침식에 의해 큰 협곡을 형성하고 있다. 코나에서 힐로로 연결되는 새들(Saddle) 도로를 따라 약 1,990 m 고도까지 올라갈 수 있는데, 이 고개에서 북쪽으로 마우나케아 화산이 4,138 m 높이로 솟아있고 봉우리에 국제천문관측소가 설치되어 있다. 이 화산은 4,500년 전에 마지막 분출하였고 최후 빙기 동안에 정상부에 빙하를 가졌던 것으로 알려져 있다. 이 화산의 동쪽 해안에서 6 km 안쪽에는 약 132 m 높이의 아카카(Akaka) 폭포가 형성되어 있다. 하와이 섬에서 오래된 코할라와 마우나케아 화산의 해안에는 거대한 산사태에 의해 가파른 절벽이 형성되어 있으며 이 절벽이 하천의 침식에 의해 상류쪽으로 이동하여 골짜기에 높은 폭포를 만들었다. 그리고 후알랄라이 화산은 서쪽에 위치하여 1970년대까지도 분출하여 용암류가 봉우리에서 산사면을 따라 검은 비단을 펼친 것과 같이 널려있다.

마우나로아(긴 산)는 단일 화산으로서 세계의 모든 활화산 중에서뿐만 아니라 지구상에서

가장 크다. 마우나로아는 아래로 굽은 해저상의 기저로부터 16,800 m 올라와 있으며, 그 중에 4,103 m는 해수면 위에 있다. 마우나로아는 4,400 km³의 용적을 가지는데, 카스캐이드 산맥에서 가장 큰 화산인 캘리포니아의 샤스타산(Mount Shasta)이 20 km³인 것과 비교하면 굉장한 크기이다. 마우나로아는 거의 대부분이 평균 3~5 m 두께의 얇은 용암류에 의해 형성되었다. 마우나로아는 12° 이하의 매우 넓고 완만한 사면을 가지는 돔 모양의 순상화산이며 똑같은 사면이 해저로 뻗는다. 이 화산의 정상부에는 길이 5 km, 너비 2.5 km, 깊이 최고 180 m되는 계란 모양의 저지가 있다. 이 저지는 정상부의 함몰에 의해 형성되었으며 모쿠아웨오 칼데라(Mokuaweoweo caldera)라 부른다. 이 칼데라의 북쪽과 남쪽 끝에서는 역시 함몰에 의해 형성된 더 작고 거의 원형의 피트 분화구와 병합되어 있다. 열곡대라 부르는 2개의 현저한 열곡대가 마우나로아 정상부의 칼데라에서 뻗어나 있다. 이 열곡대는 열린 지표에서 열곡에 의해 표시되고, 분출동안에 공중으로 포출된 용암 조각의 축적에 의해 축조된 분석구와 스파터구에 의해 표시된다.

킬라우에아는 원주민들이 화산과 불의 여신 펠레의 집이 있는 곳으로 믿고 있다. 킬라우에아 화산도 역시 중앙부에 킬라우에아 칼데라가 형성되어 있고 여기서부터 남서쪽과 동쪽으로 열곡대가 형성되어 있으며 이 곳을 따라 분출이 진행되고 있다. 특히 동부 열곡대의 마우나올루 분화구에서 1969~1974년에 분출되어 마우나올루 용암류역을 형성하였으며 푸우오오 분화구에서 1983~1986년에 아아 용암류를, 1986~1990년에 쿠과이나나하 분화구와, 1991년~현재까지 푸우오오 분화구에서 퍼호이호이 용암류를 분출되어 푸우오오 및 쿠과이나나하 용암류역을 형성하고 있다.

4. 하와이 용암의 성격

대부분 하와이 용암은 실리카 함량이 적다. 킬라우에아와 마우나로아에서 분출된 가장 흔한 용암은 감람석 현무암이다. 감람석은 녹색 광물이며 흔히 다른 광물의 석기 속에 입자로서 산출된다. 검은색의 큰 휘석 결정은 마우나케아와 할레아칼라의 용암과 분석구에서 산출된다. 감람석 현무암은 실리카가 현무암보다 더 풍부하고 좀더 담색인 하와이아이트와 같은 암석으로 점이된다. 하와이아이트는 킬라우에아와 마우나로아에서 알려져있지 않지만 마우나케아와 할레아칼라에서 풍부하다.

힐로에서 11번 하와이 환상도로를 따라 코나로 향하여 마우나로아를 지나가면 사면에서 여러 색깔 변화를 발견할 수 있다. 이 색깔변화는 용암류의 연대와 표면 특징에 따라 달라진다. 이 열곡대에서 나온 신선한 아아 용암류는 검은 색을 나타내고 신선한 퍼호이호이 용암류는 햇빛에서 번쩍이는 은회색을 나타낸다. 더 고기 용암류는 암회색이고 훨씬 더 고기 용암류는 적갈색이다. 실제로 움직이는 용암류는 종종 더 고기 지역을 둘러싸면서 갈라지며 교란되지 않은 작은 섬("kipuka"라고 부름)을 남긴다.

하와이에는 두 타입의 용암류가 산출되는데, 이들에 대한 하와이 이름은 퍼호이호이와 아아이다. 퍼호이호이는 매끄럽고, 주름지고 호근 새끼뿔 모양의 표면을 나타낸다; 이는 아아보다 더 고온이고 더 많은 가스를 가진다. 반면에 아아는 매우 거칠고 혹은 뒤범벅된 표면을 가지지만 그러나 치밀한 내부를 가진다. 퍼호이호이 용암류가 냉각되고 결정화될 때, 아아 용암류로 전이되지만 그러나 그 반대는 결코 나타나지 않는다. 이 두 타입의 차이는 화학조성에 따라 전혀 일어나지 않으며 차라리 온도, 가스 함량과 결정 함량에 따라 결정되는 것으로 보인다.

5. 하와이의 주요 용암동굴

하와이에서 주요한 용암동굴은 카주무라 용암관(Kazumura lava tubes)과 쿨라카이 용암관(Kula Kai lava tubes)이 잘 알려져 있다. 이들은 개인이 관리하면서 사진과 함께 설명도를 만들어 놓았고 헬멧, 전등, 장갑, 무릅대 등의 동굴 탐사장비를 구비해 탐방객의 편의를 제공하였으며 스스로 안내하면서 설명을 해주었다. 또한 앞으로 자기가 원형 그대로 보존하겠다고 하여 우리와 매우 대조적이었다. 카주무라 용암관은 길이가 약 60 km로서 세계 최장이라고 한다. 이들은 퍼호이호이 용암류에 형성되어 있으며 폭이 수 m이고 높이가 수십 m이다. 상부로 가면서 경사가 급해지고 용암폭포(lava fall)가 여러 차례 나타났다. 이 폭포들과 높은 천장은 바닥 침식에 의해 형성되었다는 것을 암시한다. 동굴벽에는 유선(flow line), 용암선반(lava shelf), 용암유석(lava flowstone), 찰흔(scratch) 등이 나타나고, 낮은 천장에는 용암종유(lava stalactite)를 보여주고 바닥에는 용암석순(lava stalagmite), 용암 뗏목(lava raft) 등이 존재하는 매우 아름다운 내부를 형성한다. 이러한 여러 내부구조들은 이 동굴이 만장굴과 유사하다는 것을 알 수 있다.

쿨라카이 용암관은 아아 용암류에 형성되어 있어 흐름단위(flow unit)가 쉽게 인지되며 내부가 매우 거칠다. 이 동굴은 구비가 심하고 여러 용암동굴이 합류하는 형태를 나타내며 상·하부 동굴이 서로 교차하는 모습을 보여준다. 또한 카주무라에서 볼 수 있는 내부구조는 거의 나타나지 않으며 천장에서 떨어진 낙반(breakdown)이 많고 짧은 거리를 둘러보기도 진땀이 흐를 지경이다. 이 동굴은 선사시대에 주거의 흔적이 있었으며 이에 대한 유물을 철저히 보존하는 것이 매우 돋보인다. 이 용암동굴도 개인이 관리하면서 사진과 함께 측량도를 만들어 놓았고 청소년의 학습장소로 매우 적합하게 해 놓았다. 관리인이 스스로 안내하면서 해박한 지식을 곁들여 설명을 해주는 것이 인상적이다.