

독도 화산의 화산형태 복원

황상구*, 이기동

안동대학교 지구환경과학과(hwangsk@andong.ac.kr)

1. 서 언

독도는 동해의 울릉분지 내에서 북부에 위치하며 이의 북서쪽 92km에 울릉도가 위치한다. 독도는 해수면 위에 동도와 서도 두 섬과 30여 개의 작은 암초로 구성된다. 동도는 고도 88m, 장경 450m이며, 서도는 고도 168m, 장경 550m이다. 독도는 수중 또는 대기하에서 분출하였으며 섬 전체가 화성쇄설암, 용암과 관입암 등의 화산암류로 구성되어 있다. 특히 용암과 화성쇄설암은 여러번 교호하기 때문에 수차례 반복되는 분출운회를 엮어낼 수가 있다. 분포면적은 적지만 동도와 서도에서 나타나는 지층경사, 환상 단층과 암맥 등은 서로 연관성이 있고 규칙성을 보여 화산형태를 복원할 수 있다.

2. 화산층서와 암상

독도 화산의 층서는 해수면 위에서 크게 하부 조면암 용암, 괴상 응회각력암층, 층상 라필리용회암 및 응회암층, 조면안산암 용암, 스코리아성 라필리용회암층, 상부 조면암 용암, 조면암 관입체와 조면암맥 등의 순으로 놓인다.

하부 조면암 용암은 동도의 북부 일부와 서도의 남동부 해안의 해수면 근처에 노출된다. 이 암상은 대부분 용암이지만 서도의 일부에서 급냉파쇄작용(quench fragmentation)으로 용암과 동질의 유리쇄설성 각력암(hyaloclastic breccia)을 이룬 곳도 있다. 이들은 수중분출에 의해 형성되었으며 상부에 광범위하게 덮고 있는 응회각력암과는 부정합 관계라고 해석하였다(Sohn and Park, 1994).

괴상 응회각력암층은 동도와 서도의 하부에서 수십m의 두께를 가지며 잘 노출된다. 이 암상은 괴상 혹은 역점이 구조를 보이며 일부는 성층화되어 있지만, 상부로 가면서 조립화되는 역점을 나타내는 것이 흔하다. 이 암상은 남서쪽으로 15°~25° 내외로 경사지거나 거의 수평이며 대개 담갈색 내지는 담회색의 조립질 모래 크기의 기질부와 자갈 이상의 다양한 암편들로 구성된다. 암편들은 현무암과 조면현무암이 우세하지만 회색의 조면암 및 스코리아 등도 상당히 포함된다. 이들은 대부분 이질 암편들이고 50% 이상은 차지한다. 이 암편들은 무질서한 배열을 가지며 하부에서 이들의 횡적인 연장성이 아주 불량하고 상부로 가면서 횡적인 연장성이 다소 양호해진다. 암편의 크기는 대체로 북동쪽에서 수m이고 남서쪽 갈수록 작아지고 또한 상부로 가면서도 작아진다.

층상 라필리용회암 및 응회암층은 괴상 응회각력암층 위에 정합적으로 놓이며 서로 접이적이지만, 그러나 독립문 바위 근처에서는 약한 층리를 보이는 응회각력암층과 뚜렷한 경계를 가지면서 잘 발달된 층리로 변한다. 전반적으로 두께는 수10m이지만 독립문 바위에서 최고 20m이고 남서쪽으로 가면서 얇아진다. 입도는 하부에서 라필리용회암이 우세하지만 상부로 갈수록 응회암이 우세해지며 동시에 남서쪽으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다. 개개 층은 두께가 수10cm에서 1m정도로 다양하지만 위로 가면서 더 얇아진다.

조면안산암 용암은 층상 라필리용회암 및 응회암층 위에 정합적으로 놓이며 그 두께는 최고 100m 이상이지만 동·서도 전역에 북서-남동 방향으로 발달한 정단층들의 상대적 낙차

운동에 지배되어 매우 다양하며 대체적으로 서도의 용암류 두께가 두꺼운 편이다. 이 용암은 층상 라필리옹회암과 접하는 기저 경계부의 수m 정도가 흔히 각력화되어 있으며, 주상절리가 수직으로 발달되어 있고 절리의 불연속이 용암의 흐름 단위를 암시해준다. 이 용암의 기저부는 수축에 의한 열극을 따라 흔히 층상 라필리옹회암 최상부의 응회암이 주입되어 불꽃구조를 형성하는데 이로부터 양자는 큰 시간 차이 없이 분출된 것으로 생각할 수 있다. 이 용암은 거의 수직으로 주상절리가 잘 발달하는 것이 특징적이다. 이 주상절리는 분출후에 용암이 냉각될 때 수축됨으로서 형성되는 냉각절리이다.

스코리아성 라필리옹회암층은 동도에서만 조면안산암와 층상 라필리옹회암 및 응회암 상위에서 산출된다. 이 층은 성층화 응회암이 협재한다. 그 두께는 최고 20m를 가지며 남서쪽으로 갈수록 얇아진다. 이 암상은 유리질 샤아드와 흑운모, 단사휘석으로 구성된 기질에 다양한 크기의 조면암, 조면안산암과 현무암편, 그리고 다공질 스코리아 등이 풍부하게 포함되어 있다. 남서쪽으로의 두께와 입도 감소는 공급화구가 아마도 북동쪽의 근거리에 있음을 지시한다.

상부 조면암 용암은 동도에서만 산출되며 그 두께가 최고 40m 이상이지만 곳에 따라 다양하다. 상부 조면암 용암은 하부 조면암 용암에 비해 알칼리 장석 취반정이 크고 유색광물의 반정이 현저히 줄어든 특징이 있다. 곳에 따른 두께 변화는 아마도 단층운동에 따른 저지에 용암이 주로 정치되었다는 것을 의미한다.

조면암 관입체는 서도의 서부에 넓게 분포하며 괴상 응회각력암층과 층상 라필리옹회암 및 응회암층을 완만하게 절단하는 양상을 나타낸다. 이 관입체는 연변부를 따라 주상절리가 그 접촉부에 직각으로 발달하며, 알칼리 장석 반정이 풍부하다. 이 관입체가 크게 정치된 것은 그 원인을 확실하게 알기는 곤란하지만 아마도 화도에 가까운 부분의 단층대와 약한 층리를 따라 정치된 것으로 생각된다.

조면암맥은 여러 곳에서 산출되며 마지막 관입체를 자르고 있다. 이들은 대부분 북서-남동의 단층방향에 거의 평행하게 수직으로 발달된다. 그 폭은 모두 10m 이내이며 흔히 관입 접촉부에 직각으로 주상절리를 형성한다. 특히 주상절리가 거의 수평으로 발달되면서 차별 침식으로 주변의 화성쇄설암이 침식되어 없어지고 파식대 상에 시스택(sea stack)을 형성하면서 홀로 솟아있는 경우도 있다. 이 암맥은 담녹색을 띠며 반정을 거의 함유하지 않고 세립질이다. 이 암맥들은 대부분 독도의 서북서-동남동 방향의 여러 단층을 따라 관입된 것으로 생각된다.

그리고 동도에서는 관입암 이외에 활발한 단층운동에 의해서 형성된 열극을 따라 화성쇄설물로 채워진 열극충진 각력암(fissure-filling beccia)이 흔히 관찰된다. 이 각력암들은 동도의 천장굴 주변에 북서-남동 방향의 단층대를 따라 분포한다. 이 각력암은 용암에서 떨어져 나온 블록, 이미 고결된 화성쇄설암에서 떨어져 나온 블록들로 혼합되어 있다. 그리고 여기에는 전단운동에 수반되는 파쇄현상이 나타나지 않는다.

3. 화산구조

독도는 지질구조와 공간적인 암상변화로부터 원래 화산형태를 복원해볼 수 있다. 괴상 응회각력암층의 주향은 대개 북서-남동 방향이고 경사는 서도의 남서부에서 20°~25° 내외로 남서쪽으로 기울어지며 서도의 북동부에서 10°~15° 내외로 다소 완만해진다. 동도에서는 남부에서 대체로 15°~20° 내외로 남쪽으로 경사되고 북부에서 10° 내외로 더 완만하거나 거의 수평에 가깝다. 전체적으로 서도의 남서부와 동도의 남부에서 더 급하게 남서쪽 혹은 남쪽

으로 경사되고 그 북동부와 북부에서 다소 완만해지는 경사를 보인다. 이들의 변화는 원래 화산의 분화구 외륜을 나타내거나 가깝다는 것을 나타낸다.

독도에서 큰 단층들은 동도 남부의 몇 개를 제외하면 대부분 북서-남동 방향 혹은 서북서-동남동 방향으로 배열되어 있으며 북동쪽으로 60° 내외의 경사를 갖는 정단층들이고 대체로 북동부를 중심으로 환상을 이룬다. 이 단층들은 주요 합몰 부분이 북동부라는 것을 지지하고 화산의 분화구 외륜을 따라 발달하는 내측경사의 환상단층이라는 것을 지지한다. 마찬가지로 큰 암맥들도 대체로 서북서-동남동 방향이고 북동쪽으로 급경사를 이루며 환상을 이루는 것도 있다. 작은 암맥들도 주로 $N40^\circ W$, $60^\circ NW$ 로 관입되며 북서-남동 방향의 단열대와 일치한다. 따라서 이 암맥들은 이 환상단층을 따라 관입되었다는 것을 암시한다.

분출물에서공급화구의 방향과 거리를 암시하는 여러 증거들이 있다. 층서단위의 두께 변화에서 층상 라필리응회암 및 응회암층과 스코리아성 라필리응회암층은 각각 북동쪽에서 20m이고 남서쪽으로 가면서 약 10m 두께로 얇아진다. 또한 피상 응회각력암층은 그 내에서 암편의 크기가 북동쪽에서 크지만 남서쪽으로 가면서 암편이 작아지고 성층화 라필리응회암으로 점차 바뀐다. 이러한 변화는 화성쇄설암들이 북동쪽에서 남서쪽으로 이동하였고 이 화산의 화구가 현재 독도의 북동부에 위치한다는 것을 지지해준다.

스코리아성 라필리응회암층의 스코리아들은 화구가 근거리에 있다는 것을 지지한다. 왜냐하면 스코리아는 흔히 탄도비행으로 이동하고 화구에서 멀어야 수100m 이내에 떨어지기 때문이다. 이러한 해석들을 종합하면 독도는 화산의 분화구 외륜의 남서부 잔류체라는 것을 지지하고 화구가 북동부 근거리에 위치한다는 것을 암시한다. 즉 독도를 형성한 화산의 주 화구는 북서-남동방향으로 주로 발달한 단층들을 고려할 때 현재 독도에서 북동쪽으로 수백 m 떨어진 곳에 위치하는 것으로 추정된다.

4. 화산형태 복원

해수면 위에서 8개 암석단위와 그 층서는 독도가 여러 단계의 화산활동을 통해 형성되었음을 보여준다. 여기서 우리는 3개의 용암 단위를 기준으로 그 층서에 따라 적어도 3차례 분출유회로 묶을 수 있다 왜냐하면 용암분출은 화산연속체에서 마지막 분출물을 나타내기 때문이다. 그리고 각 분출유회는 분출 환경에 따라 몇 단계의 분출양식이 바뀌면서 진행되었다. 해수면 위에서 8개 암상과 그 층서는 독도가 적어도 3차례 분출유회를 거치면서 성층 화산을 형성하였다. 각 분출유회는 분출 환경에 따라 몇 단계의 분출양식이 바뀌면서 진행되었으며 벌카니언 분출이 가장 크게 지배하였다(황상구·전영권, 2003).

전체적인 독도 화산체는 현재 해수면을 기준으로 수심 약 173m까지는 아주 완만한 경사를 가지며 지름 약 11km의 넓고 평탄한 정상에 형성되어 있는 것으로 보고되었다(Yoon et al., 2001). 그리고 수심 약 200m부터 약 2,000m까지는 상대적으로 더 급한 경사를 이루며 독도 화산체의 기저부 직경은 약 25~30km에 달한다고 한다. 하지만 해저화산의 정상부는 수심 200m부터 수심 60m 사이에서 경사가 2° 미만으로 매우 완만하고 평탄한 지형을 이루며 그 위에 동도와 서도가 해수면 위로 솟아 있다(해양수산부, 2000). 그러므로 독도 화산은 전체적으로 수심 약 173m 아래에는 마치 넓고 완만한 대규모 육상 순상화산을 닮고 정상부가 평탄한 평정해산(guyot)을 이루고 있으며 그 상위에는 용암과 화성쇄설암이 반복되는 소규모 성층화산을 형성한다. 그러므로 이 양자를 고려하면 순상화산을 닮은 평정해산 위에 작은 성층화산이 겹치는 복식화산을 나타내는 것으로 해석된다.

독도는 독도 화산 하부에 해당하는 거대한 평정해산의 평탄한 정상부 중심으로부터 다소

남측부에 위치한다. 또한 천부지층탐사자료에 의하여 이 평정해산의 평탄한 정상부 상에 독도의 북쪽과 북동쪽에는 높이 약 10m, 지름 약 250m의 해저에 작은 화산 잔류체가 발견된다고 한다(해양수산부, 2000). 즉 수심 약 70m 이하에서 평탄한 지형이 발달하며 독도와 그 주변에 해저화산 잔류체가 솟아 있는 해저지형을 보여준다고 한다. 독도와 이 해저화산 잔류체들을 연결하면 그 안쪽에 칼데라로 해석될 수 있는 저지가 나타나는데, 이 저지를 독도 칼데라로 칭하였다(해양수산부, 2000). 이 칼데라는 안쪽 수심이 외측보다 약 10m 정도 얕은 특성을 보이며, 장경 약 2.5km이고 단경이 약 1.5km인 타원형을 이룬다. 그러므로 독도 화산 상부의 성층화산에는 소규모 칼데라를 형성했던 것으로 해석할 수 있다.

5. 결 론

독도는 화산구조와 공간적인 암상변화로부터 원래 화산형태를 복원해본다면 작은 칼데라를 갖는 성층화산의 외륜 남서부 잔류체라는 것을 지시하고 그 중심부가 북동부 근거리에 위치한다는 것을 암시한다. 즉 독도를 형성한 화산의 주 분화구는 환상단층들을 고려할 때 현재 독도에서 북동쪽으로 수백m 떨어진 곳에 위치하고 있는 것으로 추정된다

독도 화산은 현재 해수면으로부터 대기하에 노출된 지역이 최고 168m이며 해수면 아래 수심 약 90~175m까지 아주 완만한 경사를 가지는 넓고 평탄한 부분이 직경 약 11km가량 형성되어 있다. 그리고 수심 200~2,000m까지는 상대적으로 급경사를 가지고 기저부 폭이 약 25~30km를 이루며 이러한 형태는 마치 육상의 순상화산을 닮은 평정해산에 대비된다.

그러므로 독도 화산은 해수면 아래 해저까지 전체를 고려한다면 거대한 평정해산 위에 작은 성층화산을 갖는 복식화산을 이룬다.

6. 참고문헌

- 해양수산부 (2000) 독도 생태계 등 기초조사 연구. 서울: BSPM
- 황상구, 전영권, 2003, 독도 화산의 분출윤희와 화산형태. 자원환경지질, 36, 527-536.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H. (1994) Geology and evolution of Tok Island, Korea. J. Geol. Soc. Korea, v.30, p.242-261.
- Yoon, S.-H., Lee, Y.K. and Han, S.-J. (2001) High-resolution echo facies analysis of sedimentary deposits around Dok Island volcanoes. J. Korean Soc. Oceanography, v.6, p.103-113.