



X. 독도 천연보호구역의 지질과 모니터링

1. 서론

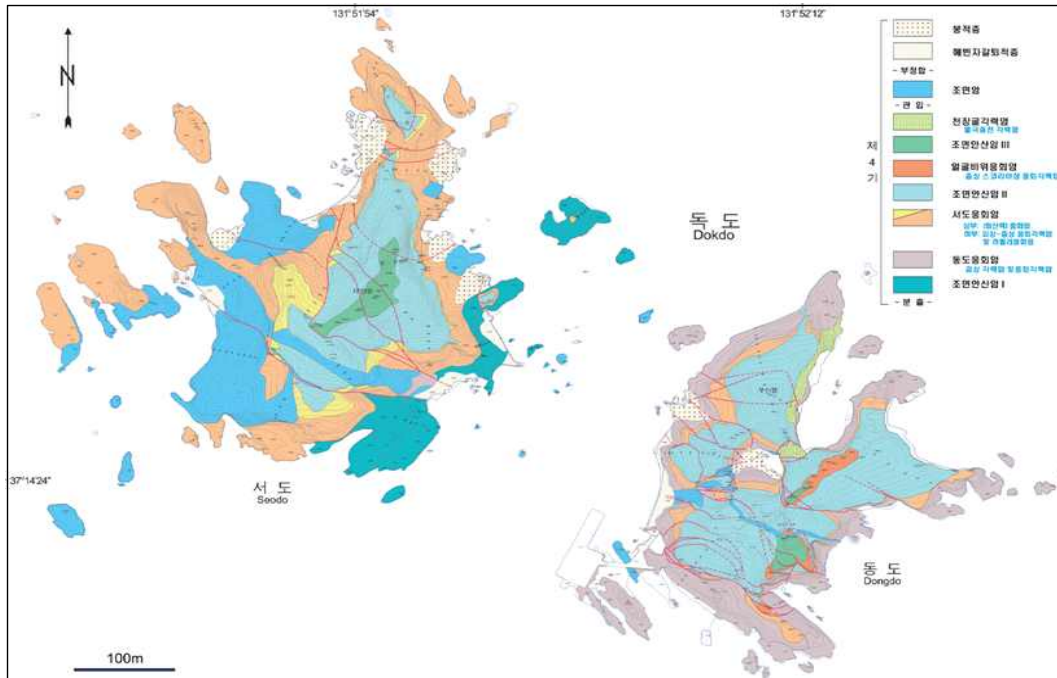
독도는 후기 플라이오세 동안 수중 또는 대기 중에 발생한 화산활동에 의해 형성되어 전체가 화산암과 화산쇄설성 퇴적암류로 구성되어 있다. 형태적으로 독도는 거대한 기저부와 얇은 수심(약 150-200m)의 비교적 넓은 정상부를 가지는 평정해산 위에 소규모로 존재하는 화산체이다. 수심이 얕으며 평탄한 평정해산 위에 발생한 독도의 화산활동 때문에, 독도에 형성된 암석들은 조용하게 분출한 용암보다는 대부분 폭발성인 응회암이나 화산각력암으로 구성된다. 응회암과 화산각력암은 화산재와 암편으로 구성되어 있으므로 물성이 약하며 쉽게 풍화되는 경향이 있다. 독도에 분포하는 지층들을 하부부터 상부까지 총 8개의 화산암층군으로 분류될 수 있다. 독도는 하부로부터 조면안산암 I, 동도응회암, 서도응회암, 조면안산암 II, 얼굴바위응회암, 조면안산암 III, 천장굴각력암, 조면암으로 구성된다. 독도의 화산암류는 총 3회의 분출에 걸쳐 형성된 조면안산암과 응회암층이 교호하여 산출되며, 이는 서로 다른 성격의 화산활동이 번갈아 가며 발생하였음을 지시한다.

이번 독도 지질조사의 목적은 최근 발표된 학술적인 보고서 및 연구논문을 바탕으로 개략적 지질을 파악하고, 야외조사 및 실내분석을 통해 최근 수년간의 모니터링 과정에서 발생한 변화에 대하여 각 층군의 지질학적 특징을 비교하는 것이다. 또한 풍화 및 침식에 취약한 주요 지질경관에 대한 절리간격 및 패턴을 조사하여 숫돌바위에서 발생한 풍랑 및 태풍에 의한 붕괴와 같은 추가적인 자연재해를 막기 위한 대책방안을 제시하는 것이다.

2. 조사방법

본 지질현황조사에서는 최근에 발간된 독도의 조사보고서 및 논문을 참고하여 독도의 지질층서 및 암질특성 등에 대한 예비조사를 실시한 후, 현지 조사에 임하였다. 현지 조사에서는 최근 개정된 독도의 지질층서를 바탕으로 각 층에 대한 지질구조, 구성암석, 구성광물 등과 같은 지질특성을 기재하고 사진촬영 및 샘플채취를 실시하였다. 채취된 시료에 대해 실내에서 시료선별 및 박편제작과정을 거쳐 현미경 분석을 실시하였다. 현미경 분석은 NIKON 편광현미경을 이용하였으며 각 박편에 대한 주, 부구성광물 및 조직적 특징들을 기재하였다. 그리고 풍화 및 침

식에 취약한 지질경관들 중, 최근 붕괴된 선착장 부근의 슛돌바위에 대해 암질특성, 절리 패턴 및 간격 등을 측정하였다.



<그림 X-1> 독도의 지질도(지질자원연구원, 2012)

3. 결과

1) 각 층군의 암석학적 특징

(1) 조면안산암 I

독도층군의 최하위 지층인 조면안산암 I 은 동도에서 선착장 북부 해안에서 작은 노두로 관찰되며, 서도의 동남 해안을 따라 북동-남서 방향으로 분포하고 있다<그림 X-1>. 한국지질자원연구원(2012)은 삼형제굴바위와 인근의 돌섬에서도 이 암체가 분포한다고 했으며, 본 조사에서도 확인 가능하였다<그림 X-2>.

이 암체의 상부는 심하게 삭박되어 부분적으로 매우 불규칙한 침식면을 형성하고 있으며, 이 침식면 상위는 동도와 서도에 전반적으로 분포하고 있는 층상 라필리응회암층과 부정합 관계를 이루고 있다.

조면안산암 I 은 대부분 용암으로서 괴상의 형태로 산출되며 절리가 잘 발달된 부분과 심하게 각력화 되어 있는 부분으로 구성된다. 절리가 잘 발달된 부분에서 이 암체가 매우 조밀하게 판상의 규칙절리로 나타나는 곳도 일부 있지만 대체 그 형태가 불규칙하게 휘어진 곡면을 이루고 있다. 이는 수중에서 용암의 차별적 열



적 수축에 의해 형성된 것으로 생각된다. 심하게 각력화된 부분은 수 cm에서 수 m까지 매우 다양한 크기와 모양의 각력들이 불규칙하게 서로 혼합되어있는 것이 특징이다. 또한 각력화의 정도는 이 암체의 상부로 가면서 점진적으로 증가하는 경향을 보인다(한국지질자원연구원, 2012).

Sohn and Park(1994)은 조면안산암 I 을 수중환경에서 분출한 용암과 각력암 즉, 수성쇄설암(hyaloclastic)의 복합체로 해석하였고, 각력암은 수중에서 액체용암으로부터 직접 형성된 것이 아니라 이미 굳어진 용암이 각력화되어 형성된 것이라고 제안한다.



<그림 X-2> 서도 동남해안 절벽



<그림 X-3> 조면안산암 I 로 구성된 삼형제굴바위 하부

(2) 동도응회암 (괴상 각력암 및 응회각력암)

동도응회암은 괴상 각력암 또는 응회각력암으로 주로 구성되며 동도와 서도에서 광범위하게 나타난다. 이 층은 상당히 두꺼운 층후를 보이며 동도의 일부 지역에서는 약 50m 고도까지 노출되어 있다.

동도 내의 괴상 응회각력암층은 대부분 암적색 또는 흑색으로 이루어져 있으며, 일부는 남서쪽 경사 5°이하의 낮은 각도로 경사하거나 거의 수평을 이룬다. 역들의 분급도는 낮고 자갈(cobble, 4-64mm)에서부터 거력(boulder, 256mm이상)까지 다양한 크기로 나타나며, 상부로 갈수록 입자의 크기가 커지는 역점이층리(inverse graded bedding)가 빈번하게 관찰된다. 역의 종류는 현무암과 조면암이 우세하지만 회색의 조면암 및 스킨리아 등도 상당히 많이 나타난다. 조면현무암질 암편에는 조립질 휘석반정이 다량 함유되어 있으며 크기가 2cm에 달하는 것들도 있다. 기질의 대부분은 암회색내지 갈색의 모래크기(sand, 1/16-2mm)로 나타나며 화산재 또는 화산력에서 공급된 것으로 보인다. 이 층은 서도의 어민숙소부근에 소규모로 분포하고 있으며 동도와 같은 암상의 괴상 또는 미약한 층리를 보이는 응회각력암으로 산출된다.



<그림 X-4> 동도 하부의 다양한 각력들로 구성된 동도 응회암

(3) 서도응회암 (층상 라필리응회암 및 응회암)

기존연구에서 이 층은 층상 라필리응회암 및 응회암층으로 기재되어 있는 반면, 한국지질자원연구원(2012)은 두 층을 합쳐 서도응회암으로 명명 및 기술하였다. 서도응회암은 하부의 괴상 응회각력암 및 라필리응회암과 상부의 층상 라필리응회암 및 응회암으로 이루어져 있다. 이는 기존연구에서 층상 라필리응회암 및 응회암층을 두 층으로 더욱 세분화한 결과이다.

하부 응회암층

하부 응회암층은 층리가 잘 발달된 응회각력암과 라필리응회암의 호층으로 구성되며, 일부 세립질 응회암이 협재되어 나타난다. 기질부는 모래 크기의 담황색 화산쇄설물들로 이루어져 있으며, 역은 주로 자갈에서 거력 크기의 회색 또는 황갈색의 조면안산암이나 현무암으로 구성되어 있다.

동도에서 이층은 주로 하부 응회각력암을 부분적으로 포함하는 층상 라필리응회암으로 산출된다. 최상부에서는 세립질의 층상 응회암이 약 1m의 두께로 분포한다. 동도의 남동부에는 하부의 라필리응회암층이 분포하지 않고 최상부의 세립질 응회암이 최하부의 괴상 응회각력암층과 바로 접하여 나타난다<그림 X-5>.

서도에서 이 층은 대개 역점이층리 또는 점이층리를 보이며 조면안산암 I 층 위



에 두껍게 분포한다<그림 X-6>. 이 층의 주향은 북북서 방향이고 남서쪽으로 20°도 내외의 경사를 보인다. 이 층리의 경사는 퇴적 이후의 지구조적 작용에 의한 것이라기보다는 분출 당시 화산체의 경사면을 반영하는 것으로 생각된다. 따라서 이 층은 대기중으로 분출된 화산쇄설물들이 화산체의 경사면을 따라 진행된 암설류 또는 입자류에 의해 형성된 것으로 해석되었다(Sohn and Park, 1994).



<그림 X-5> 동도 독립문바위 일대의 서도응회암(하부 층상응회암)과 동도응회암



<그림 X-6> 물골일대의 라필리응회암과 응회암



<그림 X-7> 점이층리를 보이는 서도응회암

상부 응회암층

상부 응회암층은 서도에 국한되어 나타나며 세립의 응회암 또는 라필리응회암으로 구성되어 있다. 이 층은 주로 담회색 또는 담황색의 세립질 화산재로 이루어져 있으며, 두께는 서도 남부에서 최대 약 30m에 달하지만 북부로 갈수록 얇아지는 특징을 보인다<그림 X-8>.

이층은 부분적으로 층리가 잘 발달되어 있으나, 전반적으로 피상 내지 넓은 간격의 거친 층리를 보이는 세립질 응회암이 가장 우세하다. 또한 드물게 화산력이 포함되어 있다.



<그림 X-8> 서도 북부 탕건봉을 구성하는 서도하부응회암, 서도상부응회암, 조면안산암 II 중간의 서도상부응회암은 담회색 또는 담황색의 세립질 화산재로 구성됨.

(4) 조면안산암 II

조면안산암 II는 층상 라필리응회암 및 응회암층 위에 정합적으로 놓여 있다. 서도에서는 최대 약 100m까지의 두께로 분포하며, 동도에서는 대부분 약 45m 정도의 두께로 발달해 있으나 얼굴바위 근처에서는 20m 내외로 분포하다가 사라진다<그림 X-9>. 조면안산암 용암의 기질부는 암녹색 또는 암회색을 띠며, 반정으로는 암녹색의 단사휘석과 담회색의 장석이 관찰된다. 반정의 종류와 함량은 지역마다 차이를 보인다. 서도의 동쪽 절벽에서는 전형적인 주상절리가 잘 발달되어



있으며, 최하부에 각력대가 존재한다. 동도에서는 서도와는 달리 주상절리가 발달하지 않지만 고각을 이루는 냉각절리들이 높은 빈도로 나타난다. 조면안산암Ⅱ는 폭발적인 분출에 의한 조면안산암Ⅰ과는 달리 대기 중의 조용한 분출로 형성된 것으로 보고 있다.



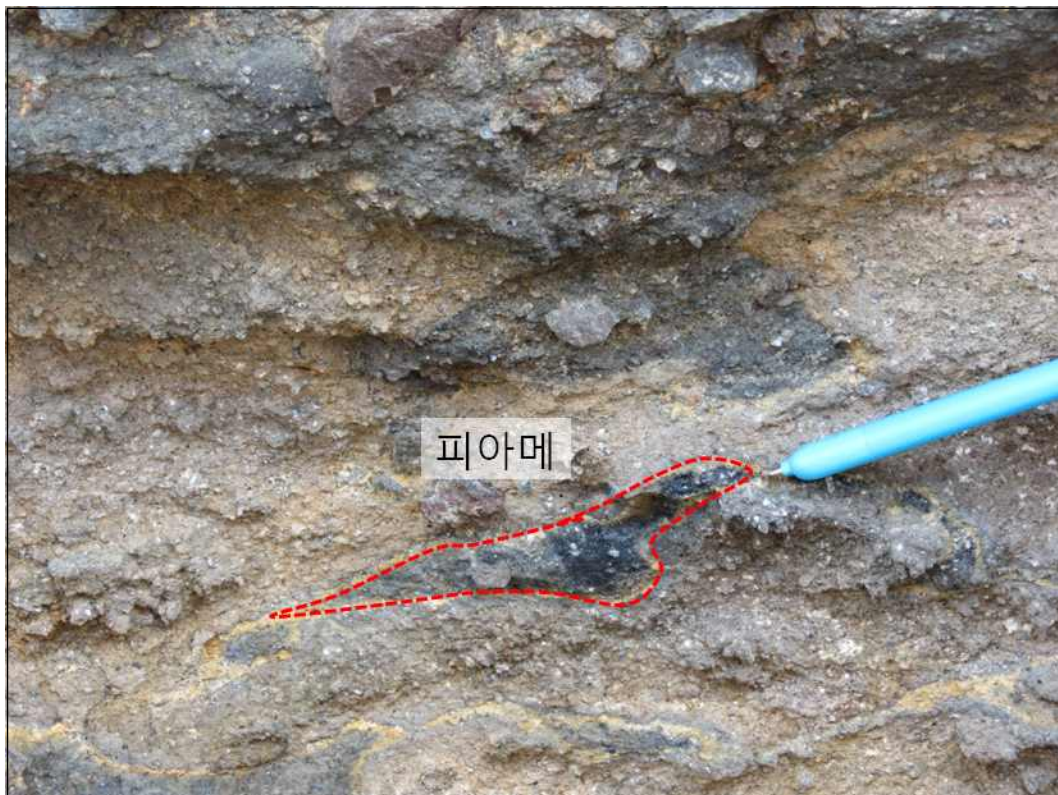
<그림 X-9> 서도의 주상절리가 발달해 있는 조면안산암Ⅱ

(5) 얼굴바위응회암 (스코리아성 층상 라필리응회암)

스코리아성 층상 라필리응회암층은 서도에서는 관찰되지 않으며 동도에서만 관찰이 가능하다<그림 X-10>. 라필리 응회암과 얇은 층리를 가지는 응회암으로 구성되어 있고 그 두께는 최고 20m이며 남서쪽으로 갈수록 얇아지는 것이 특징이다. 역은 안산암, 조면안산암, 현무암, 다공질 스코리아, 부석 등으로 구성되어 있으며, 기질부에는 유리질 파편, 흑운모, 단사회석 결정들이 다량 포함되어 있다. 일부 유리질 파편이나 스코리아는 층리를 따라 납작하게 압착된 피아메(fiamme) 조직을 보이기도 한다<그림 X-11>.



<그림 X-10> 동도 정상부근의 조면안산암Ⅱ, 얼굴바위응회암, 조면안산암Ⅲ



<그림 X-11> 얼굴바위응회암내 검은색 피아메(fiamme)



(6) 조면안산암 III

조면안산암 III은 동도에서 얼굴바위응회암과 함께 서도의 조면안산암 II 상위를 덮고 있다<그림 X-12, 13>. 산출되고 그 두께가 최고 40m이며 일부 지역에서 층후가 다양하게 나타난다. 상부 조면암 용암은 하부 조면암 용암에 비해 알칼리 장석 취반정이 우세하게 관찰된다. 대체로 괴상으로 나타나며 주상절리가 발달하기도 한다. 이 조면안암 용암은 스크리아를 형성하는 폭발적인 스트롬볼리언 화산 활동 후 폭발력이 줄어들면서 조용한 용암 분출로 화산활동이 전환되었음을 암시한다.



<그림 X-12> 동도 정상부근의 조면안산암III



<그림 X-13> 서도 정상부근의 조면안산암III

(7) 천장굴각력암 (열극충진 각력암)

각력암은 동도에서만 관찰되며 동도의 활발한 단층운동에 의해서 형성된 열극을 따라 화상쇄설물로 채워진 암석이다. 이 각력암은 동도의 천장굴 주변에서 북서-남동 방향의 단층대를 따라 분포한다. 이 각력암의 형성원인은 불확실하나, 거의 수평으로 분포하는 기존 지층들과는 무관하게 절벽을 따라 수직적으로 분포하는 것으로 보아 단층에 의해 벌어진 틈을 따라 각력들이 붕괴되어 채워진 것으로 해석된다.

(8) 조면암

조면암은 서도의 서부에 넓게 분포하며 괴상 응회각력암층과 층상라필리응회암 및 응회암층을 완만하게 절단하며 관입하고 있으며, 동도에서는 서북서 내지 동서 방향으로 관입된 암맥으로 분포한다<그림 X-14>. 이 관입체는 연변부를 따라 주상절리가 그 접촉면에 직각으로 발달하며 남북으로 신장된 모양을 보인다. 암녹색 또는 암회색의 비교적 치밀한 기질에 알칼리 장석 반정이 풍부하며 취반상조직을 보인다<그림 X-15>. 이 관입체는 화도에 가까운 부분의 단층대와 약한 층리를 따라 관입한 것으로 추정하고 있다(황상구 와 전영권, 2003).



<그림 X-14> 동도 선착장부근의 조면암(숫돌바위)



<그림 X-15> 조면암내 취반상조직을 보이는 장석반정

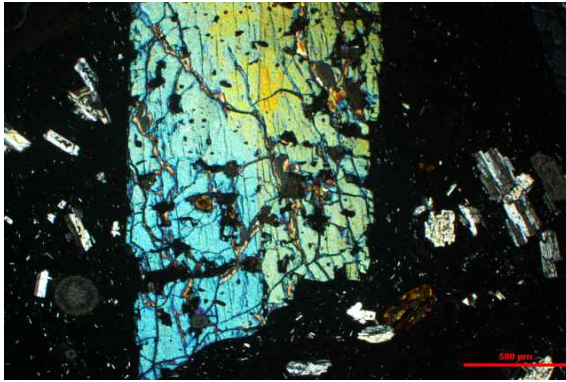
2) 독도 암석의 광물학적 특징

(1) 조면안산암 I

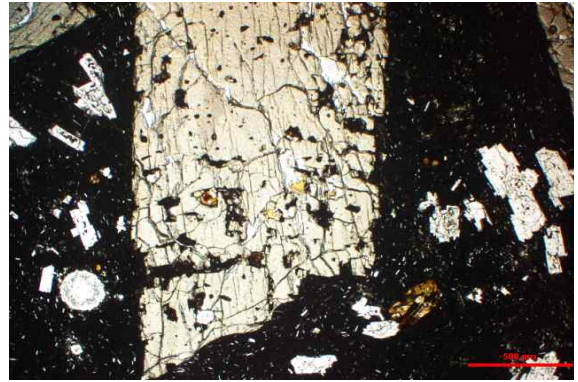
조면안산암 I의 주구성 광물로는 사장석, 알칼리장석 등이 있으며, 부구성 광물에는 휘석, 흑운모, 철산화물 등이 있다. 대부분의 사장석 또는 알칼리 장석의 반정은 반정끼리 서로 겹쳐서 나타나는 취반상조직(glomerophyritic texture)으로 나타나는 것이 특징이다. 기질은 대개 미정질 또는 은미정질의 장석 또는 유리질로 구성되어 있으며, 침상으로 나타나는 알칼리 장석의 장축이 일정한 방향으로 배열되는 조면암조직(trachytic texture)이 보이기도 한다. 최근 연구(지질자원연구원, 2012)는 영역누대(sector zoning)을 보이는 단사휘석과 체조직(sieve texture)을 가지는 사장석이 소량 포함된다고 보고하였다.

(2) 현무암질 역

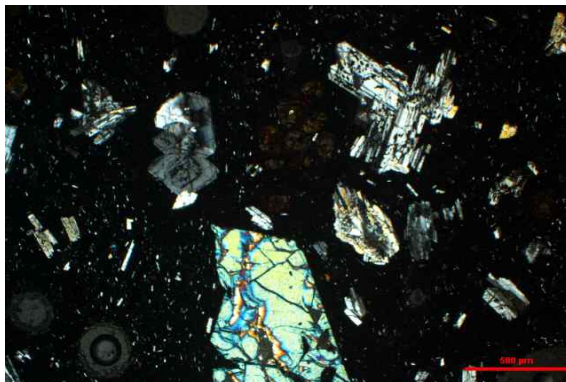
현무암역은 주로 사장석, 휘석으로 구성되어 있으며 흑운모, 철산화물 등이 소량으로 관찰된다. 사장석과 휘석이 반정광물로 관찰되며 해수에 의해 변질을 많이 받은 반정들도 보인다. 대부분의 사장석 반정은 서로 겹쳐서 나타나는 취반상조직(glomerophyritic texture)을 보이고, 휘석반정에서 칼스바드 쌍정(carlsbad twin)이 관찰되기도 한다<그림 X-16 ~ 19>. 또한 휘석반정 내에 사장석 래스들(laths)이 함유된 오피틱조직(ophitic texture)도 나타난다. 기질은 은미정질 장석 또는 유리질로 구성되어 있으며 다양한 형태의 기공들 또한 분포한다. 집괴암 역을 구성하는 현무암에 빈번히 포함되는 거대 반정 혹은 석기광물로서 감람석이 관찰되는데 대부분이 변질작용을 겪어 신선한 결정은 발견하기가 드물다.



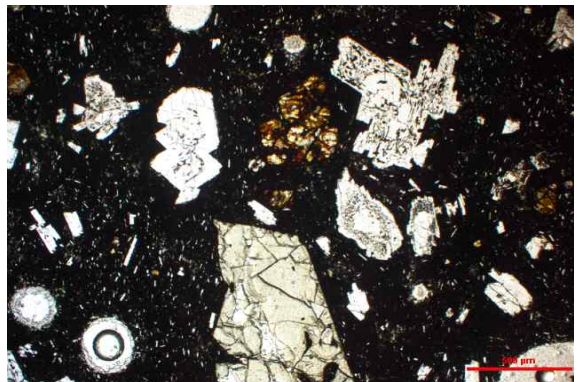
<그림 X-16> 칼스바드 쌍정을 보이는
휘석반정(직교니콜)



<그림 X-17> 칼스바드 쌍정을 보이는
휘석반정(개방니콜)



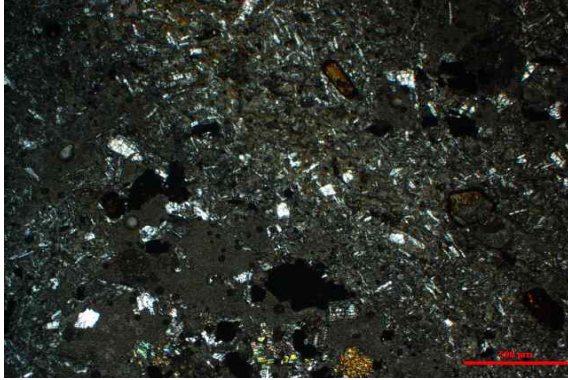
<그림 X-18> 취반상조직을 보이는
사장석(직교니콜)



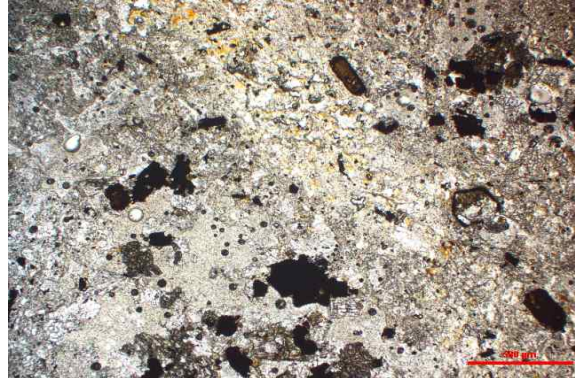
<그림 X-19> 취반상조직을 보이는
사장석(개방니콜)

(3) 조면안산암 II

조면안산암 II에서 관찰되는 주구성 광물로는 알칼리 장석, 흑운모가 있으며, 휘석, 불투명광물, 철탄산염 광물 등이 부구성 광물로 관찰된다. 기질은 대개 미정질 또는 은미정질의 알칼리 장석으로 구성되어 있으며 조면암조직(trachytic texture) 또한 보인다<그림 X-20, 21>. 반정광물로는 알칼리 장석과 흑운모가 있으며, 알칼리 장석 반정들이 서로 겹쳐서 나타나는 취반상조직(glomeroporphyritic texture)이 관찰된다. 기공들은 신장된 것들부터 합쳐져 일그러진 것들까지 다양한 크기와 형태로 나타난다.



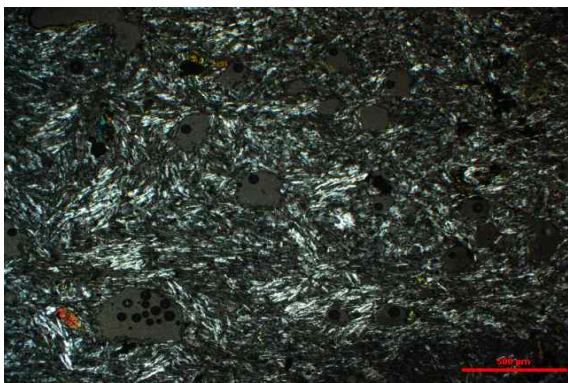
<그림 X-20> 조면암조직을 보이는
조면안산암Ⅱ(직교니콜)



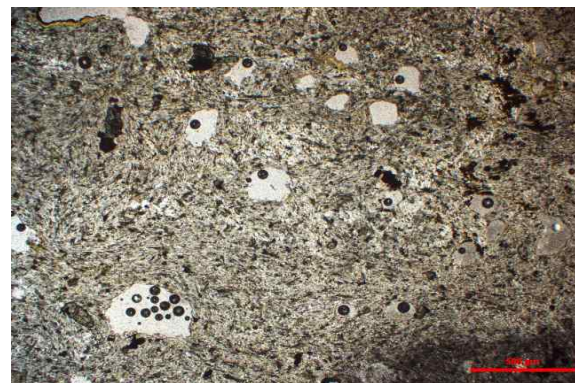
<그림 X-21> 조면암조직을 보이는
조면안산암Ⅱ(개방니콜)

(4) 조면안산암 Ⅲ

조면안산암Ⅲ에서 관찰되는 주구성 광물은 장석, 알칼리 장석이며, 부구성 광물로는 흑운모, 불투명광물, 철탄산염광물 등이 관찰된다. 반정광물로는 진동누대조직(oscillatory zoning texture)을 보이는 알칼리 장석이 관찰된다. 반정조직과 더불어 기질부에서는 조면안산암의 전형적인 특징인 조면암조직(trachytic texture)이 나타난다<그림 X-22, 23>. 조면안산암Ⅲ의 반정은 대부분 사장석 래스들로 구성되어 있다. 풍화정도가 상대적으로 높은 시료들은 해수의 영향 때문에 기질을 구성하는 장석들이 변질을 많이 받은 반면, 풍화정도가 낮은 시료들에 대해서는 현미경하에서도 변질정도가 낮게 관찰되었다.



<그림 X-22> 조면암조직을 보이는
조면안산암Ⅲ(개방니콜)



<그림 X-23> 조면암조직을 보이는
조면안산암Ⅲ(개방니콜)

(5) 조면암

편광현미경을 통해 숫돌바위를 구성하는 조면암의 박편관찰을 실시하였다. 장석과 사장석이 숫돌바위를 이루는 조면암의 주구성광물이며, 부구성광물로는 유색광물인 휘석, 흑운모와 불투명광물인 철산화광물 등이 있다. 조면암을 구성하는 장석류는 기질뿐만 아니라 반정으로도 분포한다.



조면암의 기질은 미정질 또는 은미정질의 장석으로 이루어져 있으며 치밀한 조직을 보인다. 장석은 반정 및 석기광물로서 모든 관찰되며 그 양에 있어서도 가장 많이 산출되는 광물이다. 조면암에서 특징적으로 나타나는 조면암조직(trachytic texture)도 관찰된다. 조면암조직은 기질을 이루는 장석들이 일정한 방향으로 흐르는 유동조직을 말한다. 조면암의 반정은 대부분 사장석 래스(lath)들로 구성되어 있으며, 사장석 반정끼리 서로 교차하여 분포하는 취반상조직(glomeroporphyritic texture)이 나타난다. 조면암내 사장석 반정은 거의 드물며 대부분 기질의 미립질 장석으로 이루어져 있는 것이 특징이다. 풍화정도가 상대적으로 높은 시료들은 해수의 영향 때문에 기질을 구성하는 장석들이 변질을 많이 받은 반면, 풍화정도가 낮은 시료들에 대해서는 현미경하에서도 변질정도가 낮게 관찰되었다.



<그림 X-24> 사장석반정을 가지는 조면암(직교니콜)



<그림 X-25> 사장석반정을 가지는 조면암(개방니콜)

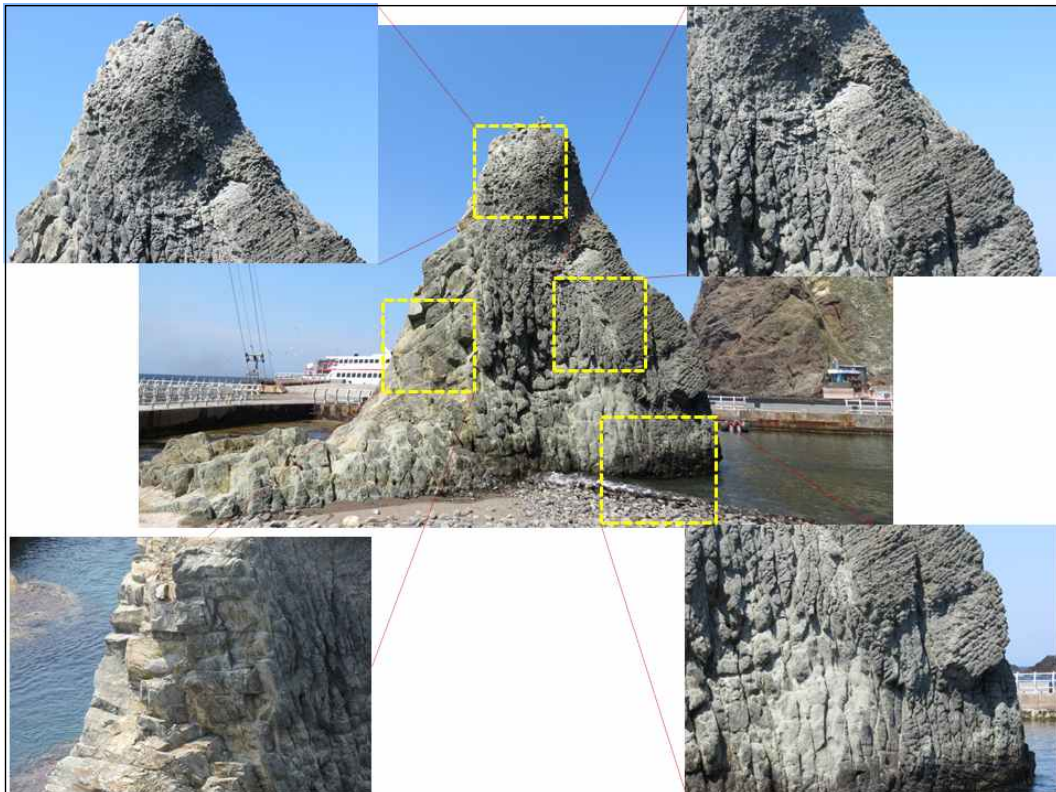
3) 솟돌바위의 절리 패턴

동도의 남서쪽 선착장 부근에 위치한 솟돌바위는 해발고도 약 10m이고, 북서-남동 방향으로 조면암질 암맥이 관입하여 형성되었다. 솟돌바위는 급격하게 냉각되어 형성되었기 때문에 다양한 크기의 주상절리를 포함하고 있다. 솟돌바위의 전체적인 주상절리의 주향과 경사는 각각 N30W, 10NE으로 나타난다. 하부의 동도 응회암과의 접촉부부터 상부 솟돌바위 꼭대기까지의 높이는 약 9m이며, 솟돌바위 중간부의 세로 폭은 약 5-5.5m이고 가로 폭은 약 3.5-4m로 측정되었다.

솟돌바위를 구성하는 각각의 주상절리에 대한 폭과 길이를 측정하여 절리패턴을 파악하였다. 솟돌바위의 남쪽면의 주상절리의 크기와 패턴은 비슷한 반면, 북쪽면은 좌측 하부에서 우측 상부로 대각선방향으로 진행될수록 절리의 폭이 작아지며 다른 주상절리에 수직 방향의 절리패턴으로 패턴의 전이가 발생한다. 남쪽면 주상절리의 세로 폭은 약 40-50cm로 나타나며 최대 70cm까지 관찰되고, 가로 폭은 약 20-30cm로 산출된다<그림 X-26>. 북쪽면 좌측 하부 주상절리의 폭은 남쪽면과 유사하게 약 45-60cm로 크게 분포하며 대각선방향의 우측 상부로 갈수록 10-15cm의 작은 크기로 발달한다<그림 X-27>.



<그림 X-26> 숫돌바위 남쪽면의 절리. 남쪽면 주상절리의 세로 폭은 약 40-50cm이며, 최대70cm까지 관찰되고 가로 폭은 약 20-30cm로 나타남.



<그림 X-26> 숫돌바위 북쪽면의 절리패턴. 숫돌바위의 북쪽면은 좌측 하부에서 우측 상부 방향으로 갈수록 절리의 폭이 좁아지고 다른 주상절리에 수직방향의 절리 패턴으로 패턴의 전이가 일어남.



4. 결론

최근 독도 지질관련 논문 및 보고서로부터 개정된 독도 지질층서를 기준으로 동도 및 서도의 각 층에 대한 지질조사를 실시한 결과를 최근의 모니터링 조사결과를 포함한 기존의 연구 결과와 비교했을 때, 일부를 제외하고 각 층에 대한 지질학적 특성 차이는 없었다.

최근 연구(한국지질자원연구원, 2012)로부터 개정된 독도 지질 층서를 살펴보면, 기존 연구에서 대부분 동도와 서도에 분포하는 최하위 응회암층을 동일층으로 해석하여 ‘괴상 응회각력암’으로 정의하였으나(Sohn and Park, 1994; 황상구·전영권, 2003; 심성호 외, 2010), 최근 연구에서는 동도의 최하부 응회암층만을 따로 분리하여 ‘동도 응회암’으로 명명하였다. 또한 서도의 ‘괴상 응회각력암’과 동도의 ‘층상 라필리응회암’을 동일층으로 보고, 이를 ‘서도응회암’의 하부응회암층으로 정의하였으며, 서도에만 관찰되는 ‘층상 라필리응회암’은 따로 분리하여 ‘서도응회암’의 ‘상부 응회암층’으로 명명하였다. 마지막으로 기존 연구에서 ‘스코리아성 라필리응회암’은 동도의 중심부를 기준으로 단절되어 각각 그 동부와 서부에 고도를 달리 하며 분포하는 것으로 측면연장성이 좋은 층으로 기술되어 있으나, 최근 연구에서는 동도 동부 정상부 일대의 스코리아성 응회암층만을 ‘얼굴바위응회암’으로 따로 정의하였다.

상단부의 3-4m³ 가량이 태풍에 의해 무너져 내린 숫돌바위의 절리 크기, 간격, 패턴 등을 조사한 결과, 숫돌바위의 동쪽 하부에서 서쪽 상부 대각선 방향으로 진행될수록 절리의 폭이 약 20-30cm에서부터 10-15cm까지 작아진다. 비록 숫돌바위를 구성하는 암체가 조면암질 마그마로서 고결정도나 강도가 독도를 구성하고 있는 화산회질 암석에 비하여 매우 높지만, 관입하여 생성될 때 차별 냉각 작용으로 수평 주상절리가 발달하여 풍화와 침식에 취약한 구조를 배태하고 있다. 따라서 파랑과 해수에 의한 파손의 위험이 상대적으로 높으므로 이에 대한 대비책이 필요할 것으로 생각된다. 특히 태풍에 의해 무너지고 남은 숫돌바위 상부의 절리가 매우 조밀하게 분포해 있기 때문에, 2차 붕괴위험 예방을 위해 더욱 지속적인 모니터링 조사가 필요하다. 숫돌바위뿐만 아니라 다른 지질경관들에 대해서도 지속적인 모니터링을 통해 보존할 필요가 있다.

5. 참고문헌

- 국토해양부. 2010. 2010년 독도 지반환경 모니터링.
- 김규한. 2000. 독도 알칼리 화산암류의 K-Ar연대와 Nd-Sr조성. 지질학회지. 36: 313-324.
- 김윤규, 이대성. 1983. 울릉도 북부 알카리 화산활동에 대한 암석학적연구. 광산지질. 16: 19-36.
- 김윤규, 이대성, 이경호. 1987. 독도 화산암의 분별결정작용. 지질학회지. 23: 67-82.
- 김창환, 박찬홍, 고영탁, 정의영, 곽준영, 유상훈, 민경덕. 2007. 중력 및 자력 자료 분석에 의한 울릉분지 북동부 독도 및 주변 해산들의 형성연구. 자원환경지질. 40: 153-170.
- 송용선, 박맹언, 박계현. 2006. 울릉도와 독도 화산암의 생성연대 및 진화사. 암석학회지 15: 72-80.
- 이종익, 허순도, 이미정, 유찬민, 박병권, 김예동, 권문상, K. Nagao. 2002. 독도 화산암류의 암석학적 특성과 지구화학. Ocean and Polar Research. 24: 465-482.
- 한국지질자원연구원. 2012. 독도도폭 설명서.
- 황상구, 전영권. 2003. 독도 화산의 분출유희와 화산형태. 자원환경지질. 36: 527-536.
- 해양수산부. 2006. 독도 균열발생에 따른 지반안정성 조사 연구. 환경부 2006 독도 생태계 정밀조사 보고서.