

우도의 지형·지질에 관한 연구

송시태*

목	차
I. 서 언	VI. 소머리오름 응회구의 화산활동사
II. 우도(牛島)의 인문환경	VII. 결 론
III. 우도의 지형	참고문헌
IV. 우도의 지질	

I. 서 언

우리 나라에서 가장 큰 화산도인 제주도 주변에는 우도, 비양도, 마라도, 가파도 등 8개의 유인도와 차귀도, 문섬, 범섬, 지귀도 등 크고 작은 54개의 무인도가 분포되어 있다. 이들 유인도와 무인도들 중에서 한반도 남해안과 제주도 사이의 제주해협 중간에 위치하고 있는 추자군도는 백악기 응회암으로 구성되어 있어 신생대 제4기에 화산폭발에 의해서 형성된 젊은 화산도인 제주도와는 전혀 다른 지질구조를 하고 있다. 본 조사지역인 우도를 비롯한 제주화산도 주변에 분포되어 있는 섬들은 제주도의 화산활동과 연관된 화산활동의 산물들이며 특히 우도는 수성화산체(水成火山體, hydro-volcano)로 되어 있어 매우 특이하다. 이들 수성화산체를 구성하는 물질은 수성화산 쇄설성퇴적물(hyalo-tuff)로서 퇴적 층리가 잘 발달되어 있다.

지금까지 우도에 대한 연구로서, 강상배(1991)는 제주도 주변 유인도에 대한 학술조사에서 우도의 지형과 지질에 대하여 개괄하였고, 손영관(1992)은 제주도 응회구 퇴적층에 관한 연구에서 우도 응회구 퇴적층에 대하여 기술하였으며, 원종관 외(1993)는 1:50,000 성산도폭에서 우도의 지질에 대하여 연구하였으며, 송시태(2003a)는 우도는 어떻 링그라진 섬일까?에서 우도의 형성과정에 대하여 기술하였고 우경식(2003)은 우도의 홍조단괴 해변 퇴적물의 특징에서 우도 서빈백사를 구성하고 있는 물질이 '흑돌잎'이라는 것을 보

* 제주대학교 교육과학연구소 특별연구원

고한 바 있다.

본 연구는 우도의 지형과 지질에 대한 특성을 밝히고 소머리오름 수성화산체의 특징을 분석하여 제주도 본도의 화산층서에서 우도가 차지하는 화산층서적 위치를 밝힘으로써 제주화산체와 주변 도서와의 상관성을 찾아내는데 그 목적이 있다.

II. 우도(牛島)의 인문환경

우도는 제주도 북제주군 우도면에 소속되어 있으며 섬 자체가 하나의 면소재지이다. 최근 우도는 많은 관광객들로 넘쳐나고 있는데 이는 우도가 제주도에 속해 있는 섬임에도 불구하고 본도와 가까운 곳에 위치하고 있고 '우도팔경'이라고 하는 독특한 자연경관을 가지고 있기 때문이다. 산호모래로 이루어진 해수욕장, 해식동굴에 비취지는 일출의 장관 등 우도는 아직까지 생성 당시의 자연환경을 보유하고 있어 제주도를 찾는 관광객들에게 '섬중의 섬'으로 각광받고 있다.

우도는 원래 조선 중기때까지만 하여도 소섬이라고 부르는 무인도였으며 국유목장으로 이용되었다. 우도에 처음으로 소와 말을 방목한 것은 1679년(조선조 숙종 23년)으로 알려져 있으며, 1844년(헌종 10년)에 김석린 진사 일행이 들어가 동남쪽 들에 정착한 것이 우도역사의 시작으로 알려져 있다.

이 섬은 물소가 머리를 내민 모양(牛頭形) 또는 누워있는 모양(臥牛形)이라 해서 소섬 즉 우도로 명명되었다고 전해지며, 1900년(경자년)에 향교 훈장 오유학 선생이 물에 뜬 두둑이라는 뜻의 연평으로 명명하여 현재까지 연평리로 불리워지고 있다.

우도면에는 천진동 서광리, 오봉리, 조일리등 4개리 12개의 자연부락 20개 반이 형성되어 있으며 반농반어(半農半漁)의 전형적인 농어촌 마을로 2003년 6월말 현재 638세대 1699명(남 807명, 여 892명)의 인구가 살고 있다.

우도의 전체면적은 6.05km²(경지면적 71%, 임야 15%, 기타 14%)이며, 밭농사를 지을 수 있는 경지면적은 우도 전체면적의 약 71%로 4대 농작물(맥주보리, 마늘, 땅콩, 쪽파)을 재배하고 있는 농부와 바다를 삶의 터전으로 하는 어부들이 살아가고 있는 섬 중의 섬이다.

사람이 살아가는 데 없어서는 안 될 제일 중요한 것은 우리들의 생명을 유지해주는 생명수이다. 우도의 주민들은 지금처럼 식수가 공급되기 이전에는 빗물을 받아 두었다가 식수와 생활용수로 사용하기 위해 저수지에 저장했던 '봉천수'와 해안변에서 용출되는 '용천수'를 이용하였었다.

지금처럼 식수를 공급하기 위하여 우도에서 지하수를 개발한 결과 약간의 염분이 포함된 지하수가 대량으로 개발되었다. 염분이 포함된 염지하수는 식수로 이용하기엔 적당하지 않아 역삼투압방식에 의한 탈염을 실시하여 1일 1천톤 규모의 먹는 물을 생산하여 주민과 관광객들에게 양질의 생명수를 공급하고 있다.

Ⅲ. 우도의 지형

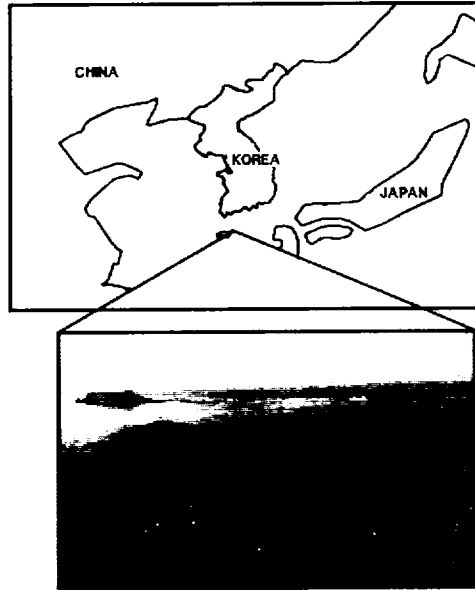
우도는 북위 33°29'~33°31', 동경 126°56'~126°58'에 위치하고 있으며 남북의 길이가 약 3.8km, 동서의 길이가 2.5km, 둘레가 17km인 신생대 제4기 플라이스토세(Pleistocene) 동안에 화산활동으로 형성된 화산도로서 제주도 연안에 산재하는 부속도서 중 최대의 면적(602ha)을 보유한 가장 큰 섬으로 성산포항에서 북동쪽으로 약 3.8km, 종달항에서 북동쪽으로 2.8km 떨어져 있다(그림 1).

우도를 비롯한 제주화산도 주변에 분포된 섬들은 신생대 제4기의 제주도 화산활동과 연관된 화산활동의 산물들이며 특히, 우도는 수성화산체로 되어 있어 특이하다.

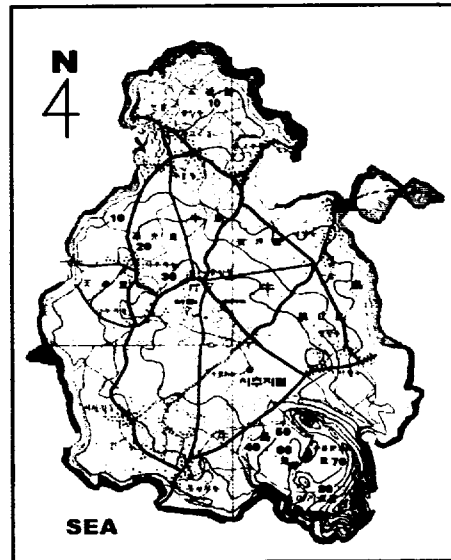
우도를 지형적인 관점에서 관찰해 보면, 우도-성산반도-섬지코지 등 남서·북동 방향의 연장선 상위에 놓여 있다. 또한 지질적인 관점에서 살펴보면, 대지형 현무암질 용암으로 이루어져 있으며 수성화산체인 소머리오름이 존재하며 이 응회구의 화구속에 분석구를 갖고 있는 섬이다.

지형의 형태는 동남쪽 해발 132.5m인 소머리오름 지역의 측화산형을 제외하고는 대부분 고도 30m이내의 평탄한 대지형 해안저지대를 이루고 있다. 소머리 오름은 수중에서 분출한 수성화산체이며 사면경사가 25°내외를 보이고 해식에 의하여 상당한 침식이 진전되어 동남쪽의 해수와 접한 지역에서는 급경사의 단애를 이루기도 한다(그림 2).

우도 주변의 해저지형을 살펴보면(해도, 수륙국 발행), 종달리와 성산포항에서 우도로 이어지는 우도수도(牛島水道) 지역의 최대 수심은 각각 20.7m와 26.5m이내의 수심 분포를 보여 연안으로부터 완만한 경사를 이루고 있을 뿐 아니라 기반은 주로 견고한 암반형이고 좁은 수로 또는 모우트 현상에 의해 형성된 듯한 갯골이 여러

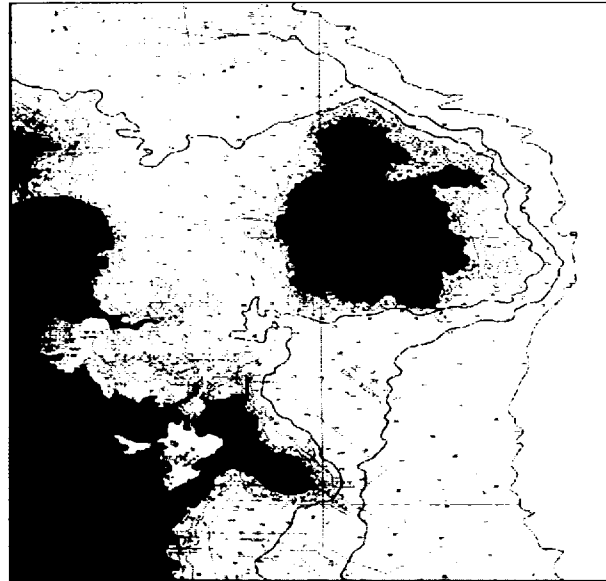


<그림 1> 우도의 위치도 및 전경



<그림 2> 연구지역의 지형도

군데 발달해 있다. 반면, 우도의 동쪽 해안의 해저 지형은 동쪽으로 약 3Km 정도 나아가면 100m 보다 깊어져 외해를 향해 급경사의 지형을 이루고 있다(그림 3).

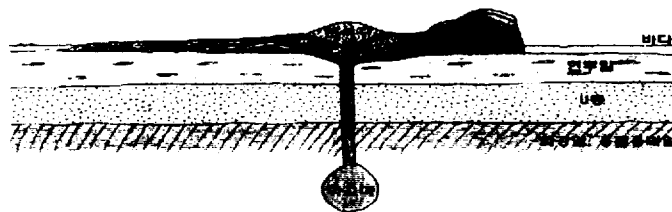


<그림 3> 연구지역의 해저지형도

IV. 우도의 지질

우도는 제주도 동쪽 끝의 성산포항으로 부터 북동쪽으로 3.8km 떨어져 위치한 화산도이다. 이 화산도는 섬의 남동부에 분화구가 위치하며 이의 동쪽과 남쪽 외각부에 응회구, 분화구 중앙에 분석구, 섬의 나머지 대부분이 용암류로 연속되어 있어 전이(transition) 단계를 보여주는 화산체이다.

우도는 층서적으로 볼 때, 하위에서 상위의 순서로 기반암(화강암과 용결응회암; 원종관 외, 1993), U층(고기원·송시태, 1998), 현무암, 응회구(Sohn and Chough, 1993), 분석구, 채동퇴적층 및 사구로 되어 있다(그림 4).



<그림 4> 우도의 지질단면도

1. 기반암

우도 화산체 하위의 구성암층은 우도응회구 속에 포함되어 있는 포획암(xenolith)인 유질(類質)과 이질(異質) 블록(block)으로부터 추정할 수 있는데 유질블록은 대부분 현무암질 용암편(그림 5)으로 구성되고 이질 블록은 용결응회암과 흑운모 화강암(그림 6)이다(송시태, 2003a). 현무암질의 유질블록은 유리질로서 다공질인것과 결정질이면서 비반상 내지 다소 반상인 현무암 블록은 우도 화산체 직하위에 존재하는 현무암질용암류에서 유래되었을 것이다.



<그림 5> 현무암질 암괴로 이루어져 있는 유질블록



<그림 6> 용결응회암과 흑운모 화강암으로 이루어진 이질 블록

용결응회암과 흑운모 화강암의 이질블록은 현무암류 하위의 부정합면 아래에 놓이는 기반암에서 유래되었을 것이다.

2. U층

제주도의 기반암을 부정합으로 피복하고 있는 미교결퇴적층인 U층(그림 4)은 117~264m 두께로 놓여 있음이 보고(고기원, 1997)되었다. 이 U층은 석영과 장석을 주 구성성분으로 되어 있으며, 교결물질인 탄산칼슘이라던가 스펙타이트가 분포하지 않아 미교결상태로 남아있는 층이다.

3. 현무암

우도의 직하위에 분포하는 현무암(그림 4)의 두께는 117~155m로서 비교적 두껍게 분포하고 있다(고기원·송시태, 1998).

지표상에 나타난 지질분포로 볼 때, 우도는 가장 먼저 북서측 해안에 분포하고 있는 빌레용암(송시태, 2003c)인 현무암이 열극분출하여 용암



<그림 7> 열극분출하여 용암대지를 형성한 현무암

대지를 형성하고 있었으며(그림 7), 뒤이은 해수면 변화에 의하여 바닷물 속에 잠겨 있었다. 이 현무암을 원종관 외(1993)는 표선리현무암으로 박기화 외(2000)는 김녕리현무암으로 보고되어진 현무암이다.

4. 응회암

제주도의 수성화산체 중 일출봉과 송악산은 현세 중기(약 4,000~6,000년 전)에 형성된 것으로 밝혀졌으며(Sohn and Park, 2002) 수월봉과 우도의 소머리오름도 비슷한 시기에 형성된 것으로 추정하고 있는 반면, 단산, 용머리, 당산봉등의 화산체들은 서귀포층과 같은 시기인 전기 및 중기 플라이스토세에 형성된 것으로 해석하고 있다. 이와 같이 시대를 달리하는 수성화산체들은 각 시기의 지표 환경과 지하지질의 특성 차이로 인해 상이한 형성 과정을 보이고 있다.

손영관(2003)은 현세의 수성화산체들이 육상 또는 천해(淺海)환경에서 분출하여 대부분 대기하(大氣下)에서 만들어졌기 때문에 수성화산활동들을 야기한 외부수(外部水)는 주로 지하수 또는 지하로 스며든 해수였던 것으로 해석하였다. 따라서 응회구와 응회환의 형태적 차이도 외부수의 양과 공급속도, 그리고 화구 주변의 암질의 차이에 주로 기인한 것으로 보인다.

수월봉과 송악산 응회환의 경우 비교적 얇은 용암류 위에 형성되었으며, 폭발이 일어난 심도에는 비교적 연약하고 투수도가 높은 퇴적층이 주로 존재하였고, 지하수의 유동을 방해하는 遮水層이 존재하였기 때문에 폭발이 주로 퇴적물내의 공극수와 마그마의 반응에 의해 일어난 것으로 보인다. 이런 조건에 의해 부력이 우세한 분출주(噴出柱)가 만들어졌고 이의 붕괴에 의해 화쇄난류(火碎亂流)가 주로 형성되어 응회환의 형태를 갖는 화산체가 만들어진 것으로 해석된다.

일출봉과 우도의 소머리오름의 경우 비교적 두껍고 투수도가 극도로 높은 용암류위에 형성되었다. 기반의 높은 투수도로 인해 외부수는 화구로 지속적으로 유입될 수 있었고 폭발은 얇은 심도에서 지속될 수 있었다. 이런 조건에 의해 관성력이 우세한 화성쇄설물의 분사가 이루어졌고 쇄설물들은 주로 낙하에 의해 퇴적되어 응회구의 형태를 만든 것으로 보인다(그림 8). 이러한 연구결과는 대수층의 성격과 심도, 주변암의 암상, 지하수 및 마그마의 거동과 같은 근원적인 요인에 의해 제어되고 있음을 보여주고 있다(손영관, 2003).



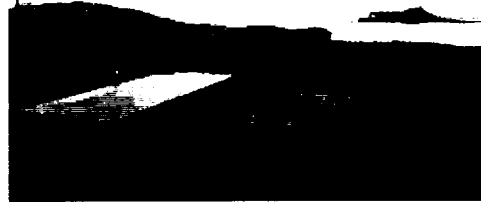
<그림 8> 마그마의 수인성 분출에 의하여 형성된 수성화산체

5. 분석구(cinder cone)

화구로 유입되는 외부수가 차단된 상태에서 상승하는 마그마는 지속적인 화산폭발을 일으킴으로써 분석과 화산탄(volcanic bomb)을 분사시키게 된다.

화산폭발이 일어나 분석과 화산탄들이 쌓여 우도 분석구를 형성하게 되었다. 분석구를 이루는 암괴(岩塊)를 제주어로 “송이”라 부르고 있으며 분석구를 형성시킨 화산폭발을 스트롬볼리언 분화라고 한다.

분석구는 소머리오름 응회구인 커다란 원형 분화구 내부의 중심부에 놓여 있다(그림 9).



<그림 9> 수성화산체 내부에 분포하고 있는 분석구

6. 현무암

스트롬볼리언 분화에 의한 분석구를 형성한 마그마의 힘이 약해지자 후기에 용암을 유출하여 응회구와 분석구 사이에 용암풀(lava pool)과 용암삼각주(lava delta)를 형성하였다(양승영·강필중, 1992).

이 용암은 응회구와 분석구 사이의 모우트에 채워져 응회구의 북서측 말단부를 거치면서 북서쪽으로 흘러나가 형성된 것으로 우도 화산체의 대부분을 차지하고 있는 현무암이다(그림 10).

이 현무암을 육안으로 검출한 결과, 길이 1 mm 미만인 침상의 장석, 작은 크기의 감람석 반정과 작은 기공이 집중된 다공질의 침상장석감람석현무암이다.



<그림 10> 응회구와 분석구 사이에 채워진 현무암

7. 재동퇴적층

응회구를 형성했던 응회암들이 풍화작용에 의해 재이동된 후에 퇴적된 재동퇴적층을 형성되게 되었다. 재동퇴적층은 소머리오름 응회구의 최상부층이 재동된 퇴적층이다. 이 층은 해안가에서 자라는 식물화석과 조간대에 서식하는 생물흔적화석을 포함하고 있는

층으로 응회구 외측부의 북동과 남서사면에 분포한다. 이는 응회구 사면의 급경사가 끝나는 부분으로부터 비교적 완경사의 사면과 현무암질 용암위를 부정합으로 덮고 있다(그림 11).



<그림 11> 재동퇴적층에 형성된 불꽃구조의 모습

8. 사구(sand dune)

우도에서 사구는 특이하게 산호사 해변으로 구성된 서부해안과 패사로 구성된 북동해안으로 구성되어 있다.

산호사 해수욕장으로 유명한 서빈백사는 우도팔경 중의 하나이며 이곳의 해변과 사구를 구성하고 있는 조립질의 산호사는 해조류의 일종인 홍조식물에 속하는 '흑돌잎'의 퇴적물로 확인되었다(우경식 외, 2003). 홍조류에 속하는 흑돌잎은 현재 산호사 해변의 저조대에 일부 서식하고 있으며 이들의 퇴적물이 현생퇴적층으로 현세 동안에 쌓인 것이다. 하우목동 해수욕장과 그 배후에 퇴적된 사구는 풍성퇴적층으로서 패각편을 주로한 전형적인 해양성 퇴적물로 구성되어 있다. 우도의 북서측 해안가 도로변에서 풍성퇴적층으로 현세에 쌓인 사구(砂丘)의 단면을 확인할 수 있다(그림 12).



그림 12. 우도 해안가 도로변에 발달된 풍성사구의 모습

VI. 소머리오름 응회구의 화산활동사

지금으로부터 약 4,000~6,000년 전에 지하 깊은 곳에서 마그마가 형성되자 매우 뜨거워진 마그마는 밀도가 낮아져 상부 지각의 약한 틈을 따라 위로 올라오게 된다.

상승한 마그마는 U층에 스며 있던 물 그리고 바닷물과 결합하게 되고 바닷물이 화구로 계속 유입될 수 있었으므로 얕은 깊이에서 폭발이 지속적으로 이루어질 수 있어 화성쇄설물을 만들어 내었다. 이 때 관성력이 우세한 화성쇄설물의 분사가 이루어졌고 쇄설물들이 낙하하게 되었다.

화성쇄설물들이 주로 낙하에 의해 퇴적되어 우도의 소머리오름 응회구를 만들게 되었다. 소머리 응회구를 형성시킨 화산폭발을 써지언 분화라고 한다. 이렇게 만들어진 응회

구는 점차 성장됨으로써 화구로 유입되는 바닷물을 차단하게 된다.

소머리오름 응회구는 두부의 두께가 동남쪽에 해발 132.5m이고 사면경사가 25°내외를 이루고 있다.

우도의 소머리오름은 수성화산활동에 의하여 형성된 화산체이다. 또한 응회구-분석구의 복합화산체 특성을 보여주는 곳이다. 해안선 부근의 얇은 바다속에서 폭발적인 화산활동 중에 식물화석을 비롯한 다양한 화석들의 산출은 매우 드문 일이다. 왜냐하면 우도 소머리오름의 응회구와 같은 기생화산체는 비교적 단기간의 짧은 화산활동에 의해 만들어지기 때문이다. 그럼에도 불구하고 다양하고 풍부한 화석의 산출은 놀라운 일이다. 더욱이 화석을 산출하는 퇴적층이 일반적인 해양성 퇴적층이 아니고 화산쇄설층으로부터 산출되었다는 것은 제주화산도만이 갖는 특수성이라고 할 수 있겠다.

소머리오름은 응회암, 분석구, 용암으로 구성되어 있다. 우도 동남부 해안에 해발 132.5m의 수직절벽으로 발달해 있는 소머리오름은 응회구의 분출양식으로 형성되었으며 화구로부터 다량의 용암을 분출하여 화구를 메우고 또한 응회구의 북측 외륜을 파괴시키며 북쪽으로 유출되어 우도 대부분의 지표를 덮고 있으며 후차적으로 응회구의 화구 중심에 분석구를 만들었다.

응회환은 화산활동시 화구내에서 마그마와 물과의 접촉에 의해 수성폭발활동을 하는 '수증기 마그마성 분화활동'의 산물이며 우도 소머리오름 응회구는 마그마의 수인성 분출에 의해 형성되었으며 수인성 분출에 필요한 물 역시 얇은 바다의 해수이거나 지하를 통해 공급된 지하수였을 것으로 추정된다.

소머리오름 응회구는 제주도의 해안 저지대에 폭 넓게 분포되어 있는 소위 표선리현무암(약 60만년 전의 용암류 ; Tamanyu, 1990)이라고 하는 대지형 현무암을 부정합으로 덮고 있다. 우도의 소머리오름 응회구의 형성은 우선 해안선 부근에서 마그마와 해수와의 작용에 의한 수성분화활동으로 시작되었다. 응회구는 응회환에 비해 마그마의 분화 심도가 상대적으로 얇고 화구도 비교적 적으나 화산체의 높이는 상대적으로 높은 특징을 갖고 있다.

우도의 소머리오름 응회구는 마그마의 수인성분출에 의하여 형성되었으며 폭발적인 화산활동으로 화산체의 높이가 100여m 이상으로 성장하여 육상으로 노출되게 되었고 이에 따라 화구는 해수와의 접촉이 차단됨에 따라 화산활동은 육상분화활동으로 바뀌게 되었다. 뒤이어 화구속에서 분석구를 만들었고 후차적으로 화구로부터 용암을 분출하여 현재와 같은 모습을 하였을 것으로 해석된다. 파도에 의한 응회구의 침식작용이 활발히 일어나자 파식절벽이 형성되어 우도응회구는 매우 가파른 절벽을 형성하게 되었다.

이러한 화산체의 형성과정을 관찰할 수 있는 소머리오름의 단면 노두는 해안절벽을 따라 잘 보존되어 있다.

VII. 결 론

우도는 우도-성산반도-섬지코지 등 남서·북동 방향의 연장선 상위에 놓여 있다. 또한 지형·지질적인 관점에서 살펴보면, 대지형 현무암질 용암으로 이루어져 있으며 수성화산체인 소머리오름이 존재하며 이 응회구의 화구속에 분석구를 갖고 있는 섬이다.

우도 주변의 해저지형은 종달리와 성산포항에서 우도로 이어지는 우도수도(牛島水道) 지역의 최대 수심은 각각 20.7m와 26.5m이내의 수심 분포를 보여 연안으로부터 완만한 경사를 이루고 있을 뿐 아니라 기반은 주로 견고한 암반형이고 좁은 수로 또는 모우트 현상에 의해 형성된 듯한 갯골이 여러 군데 발달해 있다.

우도는 층서적으로 볼 때, 하위에서 상위의 순서로 기반암(화강암과 용결응회암), U층, 현무암, 응회구, 분석구, 재동퇴적층, 사구로 되어 있다.

우도의 소머리오름 응회구는 마그마의 수인성분출에 의하여 형성되었으며 폭발적인 화산활동으로 화산체의 높이가 100여m 이상으로 성장하여 육상으로 노출되게 되었고 이에 따라 화구는 해수와의 접촉이 차단됨에 따라 화산활동은 육상분화활동으로 바뀌게 되었다. 뒤이어 화구속에서 분석구를 만들었고 후차적으로 화구로부터 용암을 분출하였을 것으로 해석된다. 파도에 의한 응회구의 침식작용이 활발히 일어나자 파식절벽이 형성되어 우도응회구는 매우 가파른 절벽을 형성하게 되었다.

참 고 문 헌

- 강상배, 1991. 제주도 주변 유인도의 지형지질, 제주유인도학술조사보고서, pp. 35~50.
- 고기원, 1997. 제주도의 지하수 부존 특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성. 부산대학교 박사학위 논문. p. 325.
- 고기원·송시대, 1998. 제주도 서귀포층 하부의 지하지질구조, 제주대학교 환경연구소. p. 56~80.
- 박기화·이병주·조동룡·김정찬·이승렬·최현일·황재하·송교영·최범영·조병욱·김유봉, 1998. 제주·애월도폭 지질보고서, 제주도, p. 290.
- 손영관, 1992. 제주도 현무암질 응회환 및 응회구의 퇴적기구. 서울대학교 박사학위 논문. p. 210.
- 손영관, 2003. 제주도 수성화산체의 형성과정, 제주화산연구소 개소기념 제1회 학술심포지엄. 제주화산연구소. p. 52~56.
- 송시대, 2003a. 우도는 어떻 밍그라진 섬일까?. 성민출판사. p. 109.
- 송시대, 2003b. 서건도 일대의 야외지질학습장 개발, 제주대학교 사범대학 교육과학연구소 백록논총 5(1). pp. 101~111.
- 송시대, 2003c. 제주도 꽃자왈지대의 용암 No. 3. 도너리꽃자왈용암, 제주대학교 기초과학연구 16(1). pp. 46~55.
- 양승영·강필중, 1992. 야외지질학. 형설출판사. p. 516.
- 우경식·김진경·강순석, 2003. 제주도 우도의 홍조단괴 해변 퇴적물의 특징. 제주화산연구소 개소기념 제1회 학술심포지엄, 제주화산연구소. p. 108.
- 원종관·이분원·이동영·손영관, 1993. 제주도수자원종합개발계획수립 성산도폭지질도설 명서. 건설부. p. 104.
- Sohn, Y. K. and Chough, S. K., 1993. The Udo tuff cone, Cheju Island, South Korea: transformation of pyroclastic fall into debris fall and grain flow on a steep volcanic cone slope. *Sedimentology*, v. 40, pp. 769~786.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H., 2002. A dynamic feedback between volcanism and stratigraphy: I. Controls of subsurface stratigraphy on hydrovolcanism processes and landforms in Jeju Island, Korea. In: *Eos Trans. AGU*, 83(22), West Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract SE32C-04.
- Tamanyu, S., 1990. The K-Ar ages and their stratigraphic Interpretation of the Cheju Island Volcanics, Korea. *Bull. Geol. surv. Japan*, 41(10), pp. 527~537.