

독도 서도 어민속소 사면 애추 지형 발달

권용휘

I. 서론

대한민국 영토로서 독도에 대한 역사학, 정치학적 연구는 일본과의 갈등 관계를 극복하는 방안으로 활발하게 진행되고 있다. 그러나 자연과학 분야에서의 독도에 대한 연구는 일본과 갈등을 겪고 있는 독도의 특수한 상황으로 인해 역사학, 정치학적 연구보다 상대적으로 활발하지 못한 실정이다. 독도가 자연과학 분야만 살펴보더라도 동해 한가운데에 솟은 작은 화산섬이라는 점에서 자연과학적으로도 연구할 가치가 매우 큰 섬이다. 독도와 비슷한 조건으로 자연과학 분야에서 주목을 받고있는 외딴 섬은 우리나라에서 가거도, 격렬비열도 등이 있고 외국에서는 일본의 오가사와라 제도, 미국의 하와이 일대의 작은 섬 등이 있다. 이러한 섬들은 대륙은 물론 인근의 큰 섬과는 확연히 다른 자연환경을 갖추고 있는 경우가 많기 때문에 학술적으로 많은 가치를 인정받고 있다.

이처럼 학술적으로 많은 가치를 지닌 독도는 울릉도에서도 약 87km나 떨어진 외딴 곳에 있고 기상 상황에 따라 선박 운항 및 접근이 어려운 경우가 많아서 접근성이 매우 떨어진다. 따라서 야외조사가 필수적인 자연과학

12 환동해의 중심 울릉도·독도

연구는 이러한 어려움 등으로 인해 상대적으로 지체되고 있는 실정이다. 현재 해수면 위로 드러난 독도 지표 부분의 자연환경과 생태계에 관한 연구는 식물학 분야에서 활발하게 이루어졌고, 해저 생물에 대한 연구는 해양학 및 생물학 연구자들에 의해 진행되어왔다. 지질학 분야에서는 독도의 생성 과정을 밝히기 위한 독도를 구성하는 암석의 물리, 화학적 특성 연구가 주를 이룬다. 이를 통해 독도에 대한 지질과 암석에 관한 조사를 실시하여 현재 해면 위로 노출된 독도의 화산암류가 약 270~210만 년 전 사이에 형성되었음을 확인하여 독도의 대략적인 나이를 밝히기도 하였다.

한편, 지형학 분야에서는 독도의 지형을 분류하고, 독도 전체 산봉우리 중 동해 바다에 잠겨있는 부분인 독도해산의 사면침식의 변화를 조사하는 등의 연구가 이루어졌다. 독도에서 확인되는 지형은 해안지형, 화산지형, 구조지형¹⁾, 매스무브먼트, 암석풍화지형 등이 있다. 이들 가운데 사면을 따라 암설이 개입 없이 중력에 의해 아래로 이동하는 것을 매스무브먼트(mass movement)라고 하며, 단애²⁾에서 낙하한 암설³⁾이 단애 아래 평지에 원뿔 형태로 쌓인 지형이 애추(talus)이다. 애추는 단애로부터 지속적으로 아래쪽으로 암설이 공급되므로, 암설이 생성되는 단애 상부는 식생이 빈약한 나지의 상태를 유지하게 된다. 식생이 번성하면 식물의 뿌리가 암설과 토양을 어느 정도 고정시켜주어 매스무브먼트의 빈도와 규모를 줄여준다. 반대로 식생이 빈약하면 이러한 식생의 기능이 없기 때문에 매스무브먼트의 빈도와 규모가 증가하여 사면은 지속적으로 침식을 받게 된다.

그리고 독도는 기반암의 특성, 밀도 높게 분포하는 지질구조선, 파고가 높은 파랑의 영향, 섬의 정상부까지 비말⁴⁾에 의해 공급되는 염분의 영향, 지표면을 덮은 얇은 토양과 빈약한 식생 등으로 인해 지반안정성이 낮다. 독도에서 암석의 낙하와 매스무브먼트에 의해 붕괴 위험이 있는 구역은 동도의 선착장 배후사면과 서도의 어민숙소 배후사면 그리고 남쪽 사면과 북쪽으로 뻗어있는 사면 등이 있다.

1) 지구 내부 힘에 의한 지각운동의 영향으로 생긴 지형.

2) 매우 험준하여 경사가 심한 절벽.

3) 암반에서 풍화, 침식작용으로 인해서 생긴 작은 암석 조각.

4) 날아 흩어지거나 튀어 오르는 물방울.

매스무브먼트는 인간 생활에 있어 직접적인 위협이 될 수 있다. 우리나라에서 발생하는 매스무브먼트의 흔한 사례로는 여름철 집중호우로 발생하는 산사태를 들 수 있다. 인간이 거주하는 공간에 매스무브먼트가 발생하면 인명피해와 재산피해가 발생할 가능성이 높다. 독도는 육지부나 울릉도와 달리 많은 사람이 거주하는 곳은 아니지만, 그래도 상주하는 주민과 경비대가 있다. 또한 파식대와 해식에 위로 곳곳에 탐방로가 개설되어 사람의 통행이 이루어지고 있다. 게다가 독도는 앞서 언급한 바와 같이 애추 등 매스무브먼트 지형이 형성되기 용이한 조건을 갖추고 있다. 따라서 독도 역시 학술적 차원을 넘어, 인명피해와 재산피해를 예방하기 위해 매스무브먼트 지형을 살펴볼 필요가 있다.

또한 장기적으로 독도는 축소 및 해체 과정에 있다. 현재 독도가 직면한 자연환경 변화 가운데 가장 주목할 분야는 지구온난화와 더불어 발생할 수 있는 파랑의 침식 부활과 이에 따라 나타나는 해식애의 후퇴, 염풍화에 의한 침식작용, 해면상승과 관계없이 단층선의 영향으로 사면에 분포하는 하곡이 확대되면서 침식이 증대되는 등의 현상이다. 이와 같은 과정을 통해 독도 전체의 규모는 축소되고 있으며 해체될 수도 있다. 독도는 화산작용으로 공기 중에 드러난 이후 파랑의 침식작용으로 지속적으로 축소되어 왔으며, 가장 최근에 해면이 현재 수준에 도달한 7,000년 BP 이후 독도 남부 해안에서 파식대 폭이 가장 넓은 구역의 해식애 평균 후퇴속도는 연간 약 4mm이다(황상일 외 2인, 2019). 이와 같은 파랑의 침식작용은 지구온난화와 함께 더욱 강력해질 것이다. 그리고 이는 매스무브먼트 현상을 촉진하여 다시 또 독도가 축소되는 속도를 높일 수 있다. 따라서 매스무브먼트 등에 대한 연구는 독도 지형 변화를 예측하고 독도 보전에 기여할 수 있다.

그리고 독도는 20세기 이후 인간이 본격적으로 활동하면서 지형이 변형되어 경관에 변화가 나타나고 있다. 동도는 1954년에 경찰이 주둔하기 시작하여 여러 차례 건물 및 시설물을 증축하여 지금에 이르고 있다. 그리하여 1982년 천연기념물 제336호 독도천연보호구역으로 지정된 이후, 문화재보호법 제33조에 근거하여 동도와 서도의 공개를 제한해 왔다. 그러나 2005년 3월 24일 정부 방침의 변경으로 입도허가제를 승인에서 신고제로 전환하여

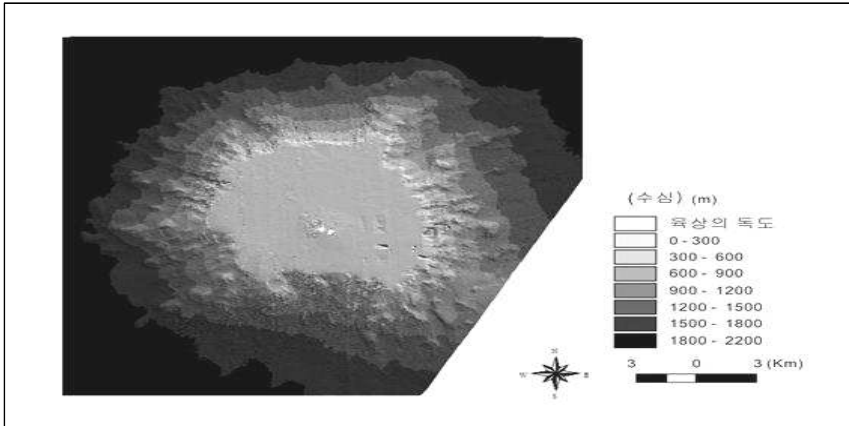
14 한동해의 중심 울릉도·독도

제한지역 중 동도에 한해서 일반인의 출입이 가능하도록 하였다. 그 결과 독도를 찾는 관광객의 수가 지속적으로 증가하고 있다. 독도를 찾는 관광객의 수가 점차 증가하자 경상북도는 독도의 입도 인원을 1일 140명(1회 70명)으로 제한하였던 것을 2005년 8월에 1일 400명(1회 200명)으로 늘렸고, 2006년 1월 1일부터는 1회 470명, 하루 1,880명으로 확대하였다. 현재와 같이 독도를 찾는 관광객의 수가 계속적으로 증가하게 된다면 독도에 대한 관심이 증가하는 순기능도 있지만, 독도생태계가 갖는 생태적 수용능력(carrying capacity)을 벗어나 독도생태계와 지형의 훼손 및 파괴로 연결될 가능성이 있다. 현재는 관광객에 의한 지형 변형을 최소화하기 위해 관광객 출입구역을 동도 선착장으로 제한하고 있다. 그러나 관광객 이외에 경비대, 관리자, 연구자, 어민 등은 동도와 서도 곳곳에 출입하고 있고 이들을 위한 시설이 설치되어 지형에 변화를 가하고 있다. 현실적으로 이러한 시설을 유지할 수밖에 없기 때문에 이들 시설의 안전을 보장하고 지형의 변화를 관찰하는 한편, 지형의 변화를 최소화할 필요가 있다.

II. 독도의 지형 개관

독도는 동해 남서부 지역의 울릉분지 북동쪽 경계부에 위치해 있으며, 신생대 제3기 플라이오세(Pliocene) 후기인 약 460만 년 전부터 250만 년 전 사이에 일어난 지각변동으로 인한 화산활동에 의해 화산체가 형성되었다.

독도는 겉으로 보기에 동해 해수면 위로 채 200m도 되지 않는 낮은 고도로 솟은 작은 섬이다. 그러나 동해 해저 바닥까지 전체를 놓고 보면 수심 2,000m가 넘는 울릉분지에서 높이 2,100m, 하부지름 20~25km인 봉우리 형태로 솟아있다(그림 1). 이를 독도해산이라 한다. 독도해산 중 해수면보다 높은 육지부는 파랑의 침식으로 대부분 제거되고 지금의 독도만 남아있다. 그리고 현재 해수면 기준 수심 170m 정도에서 지름 10~13km의 매우 평탄한 지대가 있다. 독도는 그 가운데 솟아있으며, 모든 방향에서 접근하는 파랑의 침식을 받으므로 해수면 부근에는 파식대가 발달하고 배후에는 거의



<그림 1> 독도 해산의 수심도(강지현, 2008)

수직에 가까운 단애의 해식으로 되어 있다. 그러므로 해안을 따라서 애추가 형성되기 유리한 조건을 갖추고 있으나, 파고가 높은 파랑에 의해 하단부의 암설이 꾸준히 제거되므로 애추는 현재 매우 제한적으로 분포한다.

현재 해수면 위에 드러난 독도는 전체 면적은 약 187,554m²으로 2개의 큰 섬인 동도와 서도, 그리고 89개의 부속 암초로 되어 있다(그림 2). 독도의 해안에는 짧은 구간의 자갈해안 외에는 대부분 암석해안이며 사면 경사가 대단히 급한 해식애와 함께 시스택⁵⁾, 시아치⁶⁾, 해식동⁷⁾ 등이 해안 경관을 이룬다.

동도는 섬 전체에 걸쳐 해발고도 약 70~80m의 봉우리가 높게 솟아있으며, 대부분 급경사로 이루어져 있다. 가장 높은 곳은 일출봉으로 해발고도가 98.6m이며 섬의 북쪽에 해당한다. 정상 부근은 비교적 평탄하여 등대와 독도 경비대 관련 건물들이 설치되어 있다. 또한, 두께 20~30cm의 토양이 분포하고 있어 식생으로 덮여있다. 그러나 정상 부근 및 일부 지역을 제외한 동도의 대부분 지역은 급한 경사로 인해 토양이 퇴적되지 못해서 식생이 발달하기에 불리한 환경을 가지고 있다. 해안의 둘레는 약 2.8km이며 대부분 높이 30m 내

5) 해안의 암석이 파랑의 침식을 차별적으로 받아 만들어진 지형. 침식에 약한 암석은 침식되고, 침식에 강한 암석만 굴뚝 형태로 남음.

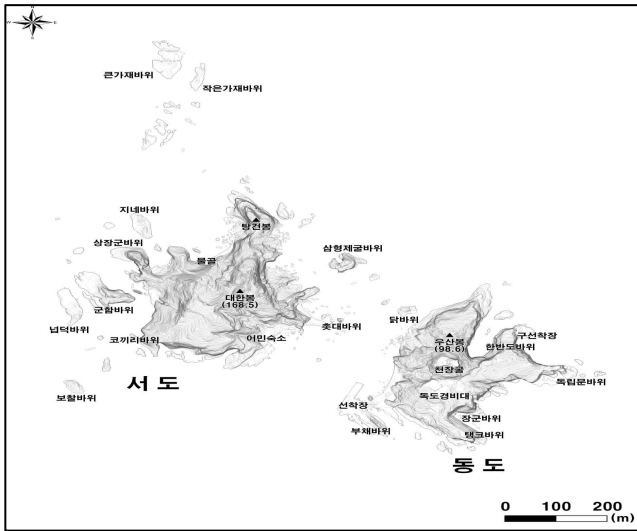
6) 파랑의 차별 침식으로 해안의 암석에 구멍이 생겨 아치 모양을 하고 있는 지형.

7) 해식애 중 해안선 가까운 높이에서 파랑 등의 침식 작용을 받아 생긴 동굴 지형.

16 환동해의 중심 울릉도·독도

외의 경사가 급한 해식애로 이루어져 있다. 동도의 중앙부에는 원형상태로 해수면까지 이어진 와지가 형성되어 있으며, 해면 부근에서 천장굴을 통해 바다와 연결된다. 동도에는 정상부의 평탄한 지역에 설치된 건물 외에 남서쪽 해안에 형성된 파식대 위에 콘크리트를 덮어 만든 선착장이 있다.

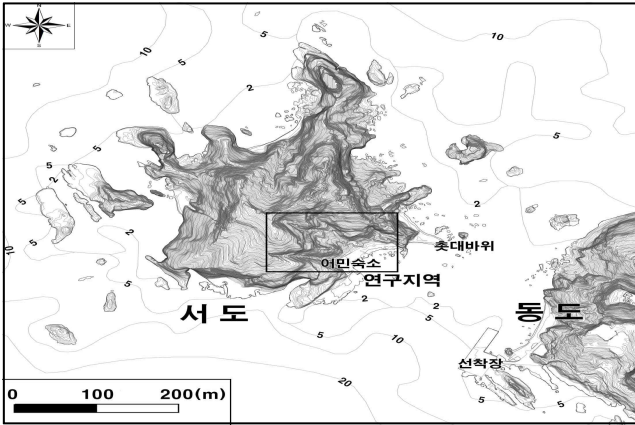
연구지역이 위치한 서도는 정상부가 대한봉으로 불리며 해발고도 168.5m이다. 전체적으로는 북동-남서 방향으로 좁고 날카로운 능선이 100m 이상



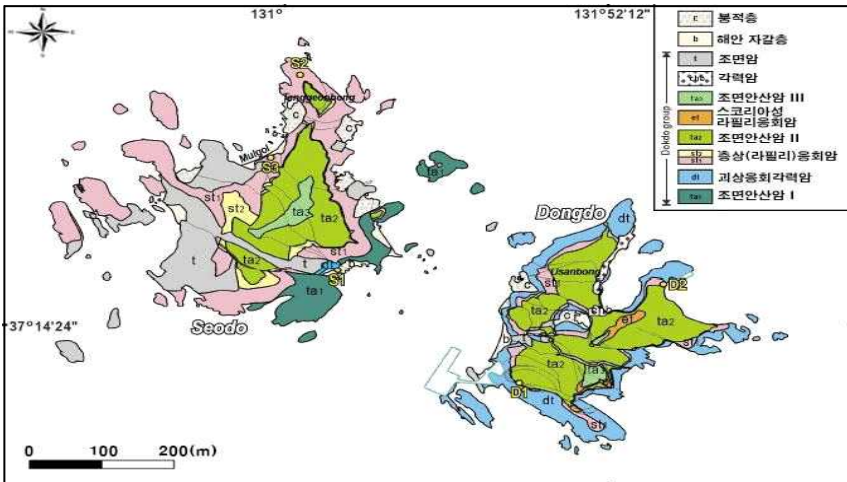
<그림 2> 독도의 지형 개관

연결된다. 기반암으로 된 이 능선의 양쪽에는 타포니가 형성되어 있으며, 폭풍이 내습하면 정상부 능선까지 염분의 비말로 뒤덮인다. 그러나 남서쪽의 해발고도 100~140m 구간은 비교적 평탄하여 토양층이 형성되어 초본류가 비교적 높은 밀도로 서식하고 있다. 서도의 해안에 분포하는 해식애는 토양층이 없거나 얇아서 식생이 서식하기 매우 어려운 환경이다. 서도에서 해식애가 개석되면서 만들어진 하곡에 암설이 퇴적된 곳은 북쪽 해안의 물골과 남서쪽 해안의 어민숙소 배후사면이다. 그 중 물골 방면으로는 세립질 토양이 대부분을 차지하여 식생이 비교적 높은 밀도로 서식하지만, 어민숙소 방면으로는 사면을 따라 자갈 등의 물질이 퇴적되어 애추가 형성되었다. 어민

숙소가 위치한 서도 남동해안과 동도 서부 해안 사이의 해역은 대부분 수심 5m 이하이고 그 중에서도 수심 2m 이하의 얕은 해역이 많은 부분을 차지하며 해저에는 사면을 따라 낙하한 자갈 등이 퇴적되어 있다(그림 3). 특히 촛대바위 남서쪽의 자갈해안과 동남동 방향의 동도 선착장 자갈해안을 연결하는 부분의 수심이 가장 얕다.



<그림 3> 독도 서도의 연구지역 위치와 서도 일대의 수심

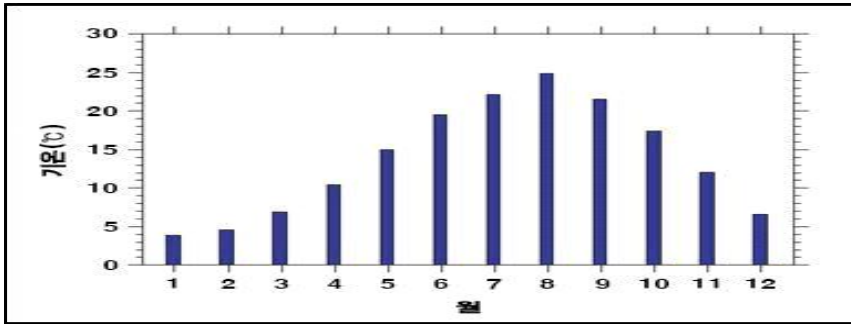


<그림 4> 독도의 기반암 분포(박선인, 2021)

(그림 4)는 독도의 기반암 분포, 즉 지질을 나타낸 것이다. 서도에는 화산 활동과 관련된 조면암(t, trachyte), 층상 라필리응회암(st1, stratified lapilli tuff), 층상 응회암(st2, stratified tuff), 조면안산암(ta, trachyandesite) 등이 분포한다. 이들 기반암의 퇴적상은 전체적으로 화산쇄설암과 용암류가 번갈아 분출되어 형성된 구조이다. 그 중 조면안산암은 해수면에서 서도 정상부까지 3개의 층으로 나뉘어 분포하는데, 기본적으로 용암류에서 기원한 암석으로서 서도에 분포하는 기반암들 중에서는 침식에 강한 편이다. 반면 응회암류는 기본적으로 화산쇄설물에서 기원하였는데 이러한 종류의 암석은 풍화와 침식에 대한 저항력이 약한 편이다. 거기에 절리나 단층이 있다면 저항력이 더욱 약해진다. 독도에는 또한 북서-남동 방향으로 정단층이 다수 발달하고 있어 구조적으로 지반이 안정되어 있다고 보기는 어렵다. 따라서 매스무브먼트 현상이 발생하기 쉬운 환경으로 볼 수 있다.

Ⅲ. 독도의 애추 발달에 영향을 주는 기후

앞서 여름철 집중호우 시 산사태가 발생한 사례를 언급한 바와 같이 매스무브먼트 활동은 기상의 영향을 직접적으로 받는다. 한편, 기후는 일정한 지역에서 여러 해에 걸쳐 나타난 기온, 비, 눈, 바람 따위의 평균 상태를 말한다. 따라서 아주 극심한 이상 기상 현상이 아니라면 기후를 통해 어느 정도 파악할 수 있다. 독도는 한반도 육지부와 같은 위도에 있고, 독도 역시 한반도의 부속도서이기 때문에 한반도 육지부와 기후가 크게 다르지는 않다. 그러나 비교적 면적이 넓으며 해발 1,000m 이상의 높은 산지와 다양한 지형이 분포하여 대륙의 면모를 어느 정도 갖춘 한반도 육지부와 달리, 독도는 동해 한가운데에 좁은 면적과 낮은 고도로 솟은 작은 섬이다. 그러므로 독도는 바다와 산이 기후에 미치는 영향이 육지부와 크게 다르다. 따라서 독도와 한반도 육지부의 기후 사이에 어느 정도의 차이가 있는 것 또한 사실이다.



<그림 5> 독도의 월평균기온

(그림 5)는 1998년부터 2007년까지 측정된 독도의 월별 평균 기온을 나타낸 것이다. 독도 역시 한반도 대부분 지역과 마찬가지로 연중 최고기온은 8월, 최저기온은 1월에 나타난다. 그런데 1월의 평균 기온이 영상 4°C 가량, 8월의 평균 기온이 25°C 가량을 나타내어 기온의 연교차가 21°C 가량인 것으로 나타났다. 이러한 연교차는 한반도의 육지부보다 적은 편이다. 참고로 서울은 1월 평균 기온이 영하 2°C, 8월 평균 기온이 26°C 가량으로 연교차가 28°C에 이른다. 그리고 몽골 등과 같이 대륙 가운데에 위치한 지역은 연교차가 서울보다도 훨씬 크다. 반면 육지부라 하더라도 해안 지역은 연교차가 적은 편이다. 특히 한반도에서는 태백산맥에 가로막혀 유라시아 대륙의 영향을 상대적으로 덜 받는 동해안 지역의 연교차가 적게 나타난다.

독도와 같은 섬과 해안 지역의 연교차가 비교적 적게 나타나는 것은 바다의 영향을 받는 해양성 기후의 특성 때문이다. 전 지구적인 기준으로 보면 독도가 완전한 해양성 기후인 것은 아니지만, 육지부에 비하면 해양성에 가까운 것 또한 사실이다. 해양성 기후 지역에서 연교차가 적은 이유는 해양의 영향으로 공기가 냉각되고 가열되는 시간이 늦어지기 때문이다.

따라서 독도는 비슷한 위도의 한반도 육지부와 달리 기온이 영하로 떨어지는 경우가 적은 편이다. 참고로 독도와 비슷한 위도이면서 내륙에 위치하여 대륙성 기후의 특징을 보이는 충북 제천의 1월 평균 기온이 독도보다 9°C 가량 높은 영하 5°C 가량이다. 이를 통해 독도가 내륙 지역에 비해서 겨

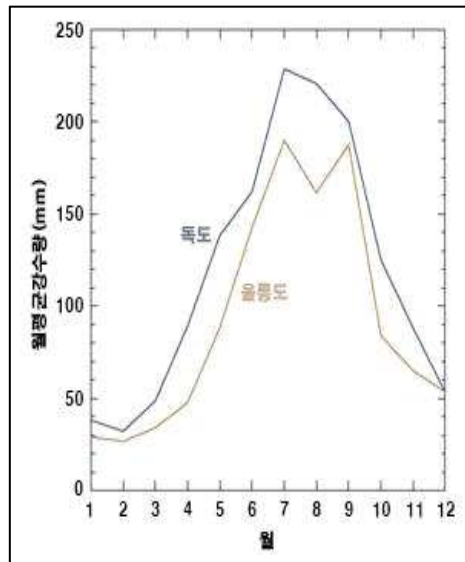
20 한동해의 중심 울릉도·독도

울철에 상대적으로 온난하다는 것을 알 수 있다. 그러나 겨울철 동안 최저 기온은 영하로 내려가는 경우는 종종 있고 후술할 바와 같이 강설량은 한반도 육지부보다 많다. 따라서 겨울철에는 경우에 따라 하루 사이에 동결과 융해가 반복되어, 이로 인한 기계적 풍화가 발생할 가능성이 있다. 즉, 독도에 쌓인 눈이 낮에 녹아 물이 되어 질리와 같은 암석 틈 사이로 침투한 뒤 밤에 얼었다가 다음날 낮에 녹는 과정이 반복되는 것이다. 물이 밤에 얼음으로 변하면 부피가 커졌다가 다시 녹아서 물로 변하면 부피가 작아지는 과정이 반복되면서 암석의 틈을 벌려나가는 셈이다. 이러한 현상으로 인해 암석에서 암설이 떨어져나오게 된다.

그러나 지구온난화 현상이 계속된다면 1년 중 가장 추운 1월에도 독도의 최저기온이 영상을 유지하는 경우가 많아질 것이다. 그렇다면 겨울철에도 눈이 아닌 비가 내리는 경우가 많아지는 한편, 앞서 설명한 겨울철에 쌓인 눈이 동결과 융해를 반복하는 기계적 풍화작용이 둔화될 가능성도 있다.

(그림 6)은 1998년부터 2007년까지 25km의 공간 분해능을 가진 극궤도 기상위성(TRMM)으로 측정된 독도와 울릉도의 월평균 강수량을 나타낸 것

이다. 독도와 울릉도 지역은 우리나라의 대표적인 다설, 대설 지역이다. 이는 겨울철에 서고동저형의 기압배치로 독도와 울릉도에 강한 북서풍이 불고 일본열도 남쪽에 발달하는 저기압에 의해 북~북동기류가 유입되기 때문이다. 울릉도에서는 4월 중순까지 강설이 이어진다. 전반적으로 독도와 울릉도는 이러한 겨울철 다설, 대설에도 불구하고 강수의 월별 변화가 뚜렷하여, 전반적으로는 여름철에 강수



<그림 6> 독도와 울릉도의 월평균 강수량

가 집중되고 겨울철에 강수가 적은 한반도의 계절별 강수량 변화와 어느 정도 일치한다. 그러나 여름철 강수량과 겨울철 강수량의 차이는 한반도 육지부에 비해 확연히 적은 편이다. 이는 연교차가 적은 기온 분포와도 비슷하다 할 수 있다.

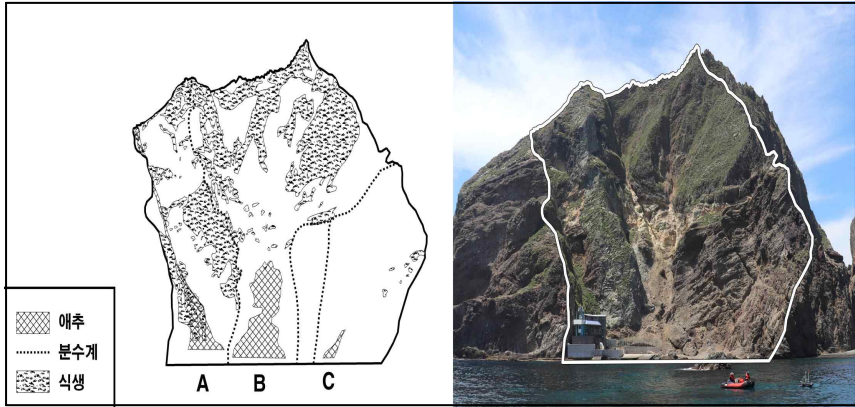
독도가 다설, 대설 지역이 된 것은 겨울철 강수량이 많으면서 겨울철 기온이 종종 영하로 내려가기 때문이다. 독도의 강설에 대한 구체적인 기록은 없지만, 울릉도와 비교하면 3월 말까지 강설이 있을 것으로 추정된다. 독도에 눈이 많이 내리는 것은 앞서 언급한 바와 같이 동결과 융해가 반복되는 기계적 풍화작용을 촉진할 수 있다.

그러나 지구온난화가 계속된다면 겨울철에도 눈이 아닌 비가 내리는 경우가 증가할 것으로 보이는데, 그렇다면 동결과 융해가 반복되는 풍화작용 대신 많은 양의 비가 지표를 흐르면서 발생하는 풍화작용이 보다 활발해질 수 있다. 즉, 여름철 집중호우 시 산사태가 발생하는 것과 비슷한 현상이 자주 나타나는 것이다.

IV. 독도 서도 어민숙소 일대 애추의 공간 규모와 분포

애추(talus)는 급사면 또는 단애로부터 매스무브먼트 현상으로 인해 여러 차례 낙하한 암설이 아래쪽의 완경사면이나 평탄지에 중첩하여 쌓여 형성된 사면이다. 독도에서 흔히 볼 수 있는 산사태는 바로 이러한 애추가 대부분이다. 애추의 종단사면은 비교적 직선으로 된 것도 있지만, 일반적으로는 상단에서 말단으로 매끄러운 요형(凹形) 사면이다. 독도에서 애추를 형성하는 암설은 계곡을 통해 하부로 운반되므로 암설이 모이기 쉬운 협곡의 하단부에 애추가 분포한다. 서도 어민숙소 일대의 지형 역시 협곡에 해당하므로 비교적 큰 규모의 애추가 분포한다.

(그림 7)은 2020년 6월에 동도 선착장에서 촬영한 사진을 바탕으로 나타난 서도 어민숙소 일대 애추 지형 경관이다. 애추 지형 발달에 큰 영향을 끼치는 식생의 분포를 나타내기 위해 식생이 비교적 번성하는 여름철에 촬영



<그림 7> 서도 어민숙소 일대의 애추 지형 경관

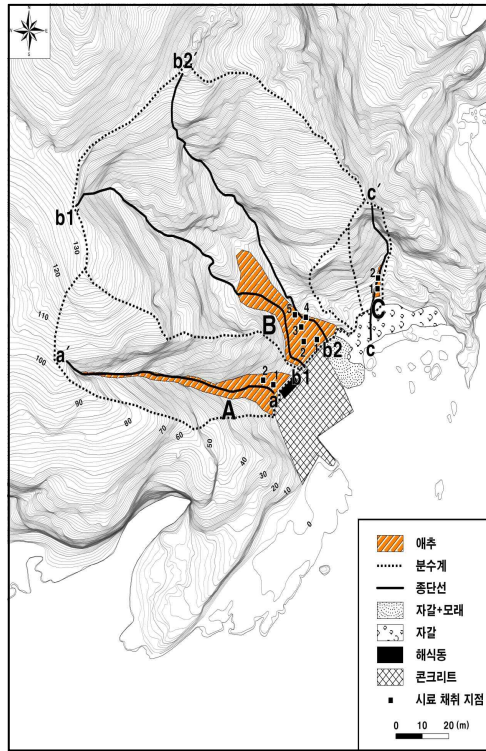
한 사진을 바탕으로 그림을 작성하였다. 서도 어민숙소 일대의 사면에서는 해빈⁸⁾과 접하는 세 개의 애추가 확인되었다. 점선은 계곡 간 능선을 따라 이어지는 분수계이다. 이 분수계를 경계로 각각의 계곡마다 암설이 흘러내려 애추가 형성된다. 서도 어민숙소 일대에서는 크게 세 개의 분수계에서 애추가 발달하였다. 그 중 가장 남쪽에 위치하여 탐방로 계단이 설치된 좁은 협곡을 따라 발달한 애추를 A, 가운데에 가장 큰 협곡을 따라 발달한 애추를 B, 가장 북쪽에 위치하여 비교적 작은 협곡을 따라 발달한 애추를 C로 분류하였다. (그림 7)을 통해 애추 A의 사면은 대체로 식생으로 피복되었으나, 애추 B와 C의 사면은 식생의 발달이 비교적 미약한 것을 알 수 있다.

(그림 8)은 어민숙소가 위치한 서도 남동해안의 A~C 애추 지형면을 분류하고 종단선 위치를 표기한 것이다. 그리고 현지 조사 결과와 대축척 지형도를 통해 종단면도를 작성하고, 현지 조사를 통해 보완하였다. 애추가 분포하는 구역의 해안은 원래 남서쪽과 북동쪽의 헤드랜드⁹⁾ 사이의 만입부에 형성된 자갈해안이었다. 그리고 원래 해식동이 발달해 있었던 것으로 보인다. 그러나 현재는 어민숙소 등의 시설물을 건축하면서 경관이 변화하였다. 일부는 콘크리트로 포장되었으며, 어민숙소 건물이 들어섰다. 또한 애추에

8) 해안선을 따라 평행하게 발달한 모래, 자갈, 생물 등으로부터 기원한 퇴적물이 쌓인 지형.

9) 드나들이 심한 해안 지형에서 불쑥 튀어나온 부분. '만'의 반대 개념.

서 암설이 흘러내려 콘크리트 구조물이 훼손되는 것을 막기 위해 옹벽이 설치되어 있는 부분도 있다. 콘크리트 구조물 북동쪽으로는 자갈과 모래가 함께 퇴적되어 있으나 콘크리트 구조물 인근은 주로 모래가 퇴적되어 있다. 그리고 이러한 자갈과 모래 퇴적층 위에는 협곡의 상단부에서 낙하하였거나 태풍 등으로 인해 발생한 큰 파랑이 바다로부터 운반해온 커다란 바위들이 분포한다.



<그림 8> 서도 어민숙소 일대 애추의 지형면 분류와 종단선

1. 애추 A

가장 남쪽에 위치한 애추 A는 동-서 방향으로 형성된 좁고 깊은 계곡을 따라 길게 분포한다. 이 하곡에는 어민숙소에서 서도의 해발고도 100~140m의 평탄한 구역으로 연결하는 탐방로 계단이 조성되어 있다. 종단선 a-a'는 계단의 위치와 거의 일치한다. 애추 A는 해발고도 29m부터 해안까지 분포하며, 이 애추에 암설을 공급하는 집수역¹⁰⁾의 최고 고도는 해발 132m이다. 사면 물질의 크기는 최대 boulder¹¹⁾ 급 자갈이다.

소규모 계곡은 단층선을 따라 직선상의 비교적 깊은 골짜기를 형성하여 계곡의 측벽은 사면 경사가 대단히 급하므로 암설 공급에 유리하다. 그러나

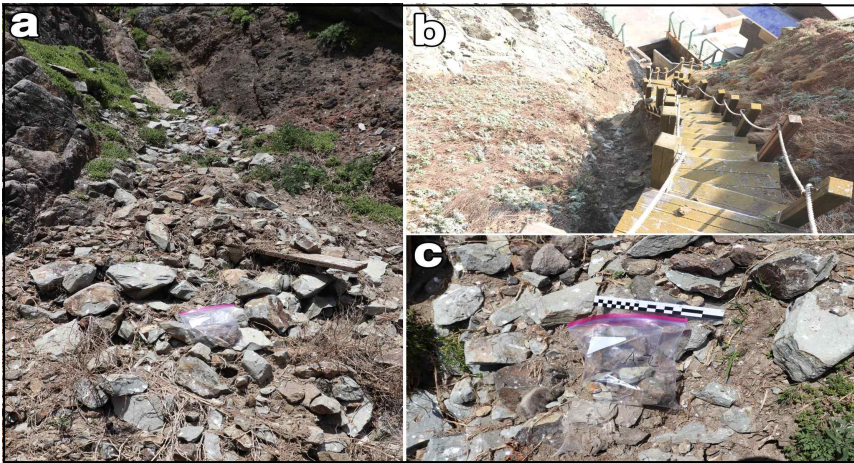
10) 강이나 하천수 등의 물질이 모이는 지형적 경계구역. 독도는 비가 올때만 지표에 물이 흐르는데, 여기서는 애추의 암설이 흘러서 모이는 것으로 이해.

11) 입자의 직경이 256mm 이상인 퇴적물.

24 한동해의 중심 울릉도·독도

애추 A는 현재 계곡을 따라 계단이 조성되어 있어 지형이 변형되었다. 이로 인해 본래 계곡의 아래쪽으로 낙하하여야 할 암설들이 계단의 목재 데크나 콘크리트에 쌓여있다. 심한 경우 계단이 파손되기도 하는데, 이는 암설이 계단으로 낙하할 경우 탐방객의 안전이 위협받는다라는 것을 의미한다. 따라서 계단에 쌓인 암설을 제거하고 암설로 인해 파손된 계단을 복구하는 작업이 이루어지기도 한다. 또한 최하부에는 어민숙소 건물을 보호하기 위한 옹벽과 철망이 건설되었다. 애추 A에서는 인간의 만든 시설물이 자연적 지형을 파괴하는 것과 자연적 지형발달이 인간이 만든 시설물을 파괴하는 상호작용이 일어나고 있다고 볼 수 있다. 따라서 자연적 지형과 인간이 만든 시설물이 공존하기 위한 대책이 시급하다.

한편, 어민숙소 부근 콘크리트 구조물 뒤편 해식동으로 드나드는 파랑은 애추의 하단을 침식하여 제거하고 있다. 그리고 어민숙소 및 콘크리트 선착장, 옹벽 설치 등이 이루어지면서 애추 A는 최근까지 인위적인 영향을 받았다. 따라서 단애로부터 공급되는 암설량과 파랑에 의해 제거되는 암설량과의 관계에 대해서는 앞으로 지속적인 추적 및 관찰이 이루어져야 할 것으로 생각한다. 만약 공급되는 암설량이 제거되는 암설량보다 많다면 애추가 더 발달하거나 최소 현재의 상태를 유지할 것이고, 제거되는 암설량이 공급되



<그림 9> 애추 A 사진

(a: 애추 A 암설 전경, b: 계단에 떨어진 암설, c: 암설 시료 채취)



<그림 10> 애추 A 전경

는 암설량보다 많다면 애추는 점차 축소되어 최종적으로는 사라질 것이다.

애추 A 하부에서는 계단 인근의 2개 지점에서 암설을 조사하였는데, 애추를 구성하는 자갈은 각력¹²⁾이다. 1지점은 애추 A의 최하부 자갈층으로 9~15cm의 cobble¹³⁾ 급과 5cm 내외의 pebble¹⁴⁾ 급이 주를 이루며 그보다 큰 boulder 급 자갈도 확인된다. 2지점은 1지점보다 약 5m 상부에 위치

해있다. 2지점은 8cm 내외의 cobble 급과 4cm 내외의 pebble 급이 주를 이룬다. 1지점과 2지점을 비롯하여 계단과 가까운 애추 A 하부는 미약하게나마 토양층과 식생이 분포하고 봄철에는 꿩이갈매기가 둥지를 틀고 알을 낳으며 활동한다.

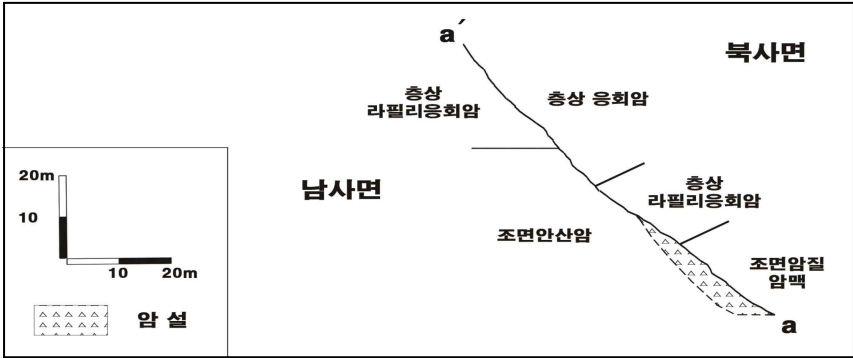
(그림 28)은 애추 A의 종단면도이다. a-a' 사면의 평균 경사각은 48°에 이르러 매우 가파르다. 그리고 애추 A는 단층선을 따라 발달해 있기 때문에 종단선 양측의 남쪽과 북쪽 사면의 기반암이 다소 어긋나있다. 이처럼 애추 A는 경사가 가파르고 단층선이 발달한데다 인공 구조물인 계단이 건설되어 불안정한 상태라고 볼 수 있다. 앞서 이야기한 바와 같이 애추 A의 계단이 암설에 의해 빈번하게 파손되는 것 역시 이를 뒷받침한다.

기반암을 자세히 살펴보면 남쪽 사면은 하부에서부터 조면안산암, 층상 라필리응회암, 층상 응회암 순으로 나타나며 북쪽 사면은 조면암질 암맥, 층

12) 암석이 부서져 생긴 암석 파편의 모서리가 거의 닳지 않고 각진 상태로 있는 것.

13) 입자의 직경이 64~256mm인 퇴적물.

14) 입자의 직경이 4~64mm인 퇴적물.



<그림 11> 애추 A의 종단면도와 기반암 분포

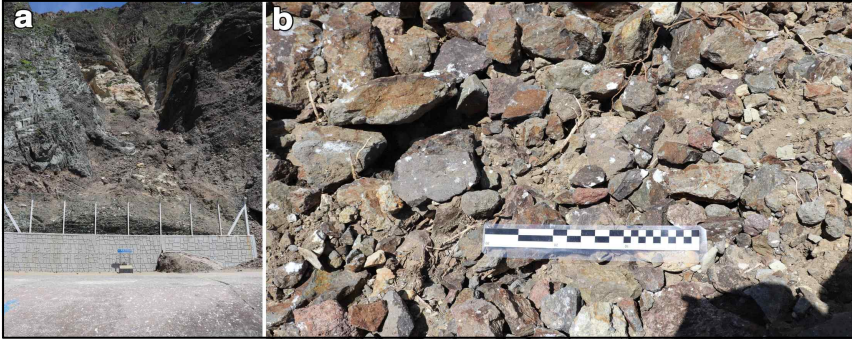
상 라필리응회암, 총상 응회암, 조면안산암 순으로 분포한다. 애추 A의 암설은 대부분 풍화와 침식에 약한 응회암 계통의 기반암으로부터 공급된 것으로 보인다.

2. 애추 B

애추 B는 어민숙소 선착장 뒤편으로 발달해 있다. 암설은 해발고도 40m 까지 분포하며 폭이 상대적으로 넓다. 집수역은 애추 A보다 넓고, 집수역의 최고 고도는 해발 161m에 이른다. 애추 하부의 폭은 약 25m, 애추의 연장은 약 50m이다. 암설의 최대 크기는 boulder급 자갈이다. 이곳은 2개의 단층선이 비교적 얇은 골짜기를 따라 발달하였는데 해발고도가 낮은 쪽으로 내려오면서 하나의 단층선으로 합쳐지므로 복합애추(compound talus)로 볼 수 있다. 식생은 집수역 상부에는 비교적 잘 발달해 있으나 암설에서는 빈약하다.

애추 B 구역에는 단층선을 따라 계곡이 발달하므로 암설은 사면으로부터 단층선을 거쳐 공급되고 있다. 애추 하단에는 암설의 양이 많아 어민숙소의 안전을 위협하므로 콘크리트와 철망으로 이루어진 옹벽이 설치되어 있다. 그리고 옹벽에 암설이 크게 축적될 때마다 바지선과 굴삭기 등의 장비를 동원하여 암설을 제거하고 외부로 반출하고 있다. 옹벽에는 배수구가 설치되어 강수 시 암설로 침투하여 흐르는 유수를 배출한다. 그러나 배수구가 설치되어 있다 하더라도 옹벽이 없는 경우에 비해서는 유수를 배출하는 것이 어려울 가능성이 있다. 만약 집중호우 시 유수를 배출하는 것이 원활

하지 않다면 암설이 유수를 타고 더욱 활발하게 흘러내려 어민숙소의 안전을 위협할 수도 있다. 한편, 옹벽이 없는 애추의 동쪽 끝부분은 암설이 해안까지 이동하여 애추 특유의 원추형을 나타내고 있다.



<그림 12> 애추 B 사진
(a: 애추 B 전경, b: 암설 시료 채취)



<그림 13> 애추 B 옹벽의 배수구에서 유수가 배출되는 모습

애추 B 하부에서는 옹벽 인근의 5개 지점에서 암설을 조사하였다. 동쪽 최하부의 1지점은 10cm 이하의 cobble급이 주를 이루는데 풍화가 비교적 덜 이루어진 암설은 드물고 풍화가 많이 진행된 암설이 많다. 중앙부 하부의 2~3지점은 12cm 내외의 cobble 급

부터 boulder 급까지 다양한 크기의 암설이 분포하는데 주로 조립질¹⁵⁾이다. 1지점에서 7m 상부에 위치한 4지점과 그보다 2m 가량 상부에 위치한 5지점에서는 pebble 급이 cobble 급보다 많으며 암설 물질의 양이 하부의 1, 2와 3지점

15) 광물의 입자가 비교적 굵은 결정질 암석이나 그 조직을 일컫는 표현.

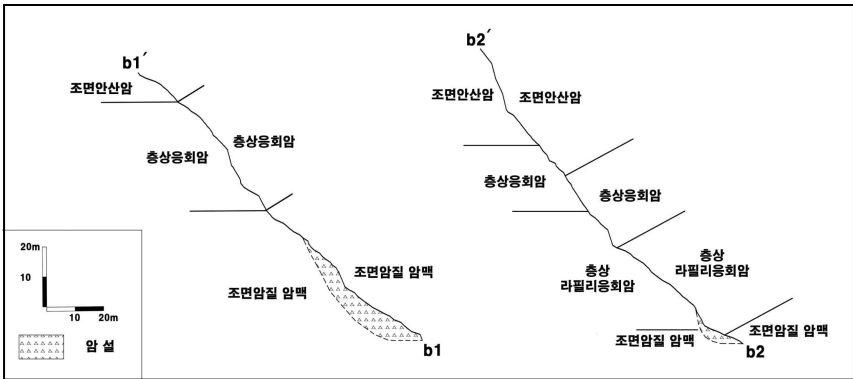
보다 많다.

(그림 14)는 옹벽이 없는 애추의 동쪽 끝부분을 촬영한 사진이다. 앞서 언급한 바와 같이 이곳에서는 암설이 옹벽의 방해로 덜 받으면서 자연스럽게 해안까지 이동하여 지리 교과



<그림 14> 애추 B 동쪽 끝부분 하단

서에서 볼 수 있는 애추 특유의 원추형을 볼 수 있다. 이처럼 인간이 개입하지 않으면 교과서에서 볼 수 있는 전형적인 지형 경관이 나타난다. 반면 옹벽이 조성된 애추 B의 나머지 부분과 계단이 조성된 애추 A와 같이 인간이 개입하는 경우에는 지형 경관이 변형, 훼손되어 학술적인 가치가 떨어지고 지형이 향후 어떤 방향으로 변화할지 예측하기가 어려워진다.



<그림 15> 애추 B의 종단면도와 기반암 분포

(그림 15)는 애추 B의 종단면도이다. 애추 B가 분포하는 골짜기는 크게 2개로 나눌 수 있는데 b1-b1' 종단면은 남서쪽, b2-b2' 종단면은 북동쪽에 위치한 골짜기이다. b1-b1' 종단면의 사면경사는 47°, b2-b2' 종단면은 53°로 b2-b2' 종단면의 경사가 더 급하다.

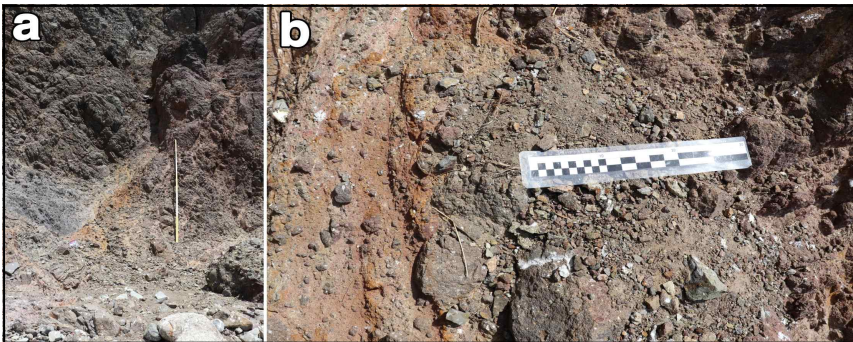
기반암은 b1-b1' 종단면은 하부에서부터 조면암질 암맥, 층상 응회암,

조면안산암 순으로 분포해 있다. b2-b2' 종단면은 단층선을 따라 기반암이 어긋나 있는데 하부에서부터 조면안산암, 조면암질 암맥, 층상 라필리응회암, 층상 응회암, 조면안산암 순으로 분포한다. 애추 B 역시 주로 응회암 계통의 기반암에서 암설이 공급되는 것으로 보인다.

3. 애추 C

애추 C는 어민숙소 북동쪽 자갈해안의 배후사면에 분포한다. 암설은 해발고도 14m까지 퇴적되어 있고 서도 남동해안의 애추 가운데 길이가 가장 짧으며, 장경이 가장 큰 암설은 cobble급 자갈이다. 이 암설이 입지하는 계곡은 단층선 없이 형성되어 애추 A와 B가 분포하는 계곡에 비해 좁고 얇고, 암설을 공급하는 집수역도 좁으며 분수계의 최고고도는 해발 83m이다. 식생은 전반적으로 빈약한 편이나 애추 A, B와 달리 어민숙소와 다소 떨어져 있어 인간의 개입은 적게 받았다. 다만 암설의 양이 애추 A, B에 비해 매우 적은 편이라 인간의 개입이 적음에도 불구하고 애추의 전형적인 형태는 찾아보기 어렵다.

애추 C 하부에서는 2개 지점에서 암설을 조사하였다. 하부의 1지점에는 7~8cm의 cobble 급이 많았으며, 1지점보다 3m 가량 상부에 위치한 2지점에는 4cm 이하의 pebble 급이 주를 이루었다.



<그림 16> 애추 C 사진
(a: 애추 C 전경, b: 암설 시료 채취)

30 한동해의 중심 울릉도·독도

(그림 16)은 애추 C의 종단면도이다. c-c'의 평균 경사각은 60°로 매우 급하지만 애추가 형성된 사면의 하단은 다소 완만하여 30° 정도이다. 기반암은 하부로부터 조면안산암, 층상 라필리응회암, 층상 응회암 순으로 분포한다. 암설은 주로 응회암 계통의 기반암에서 공급되었을 것으로 보이지만 암설의 양이 매우 적고 암설의 크기 또한 (그림 15)의 b 사진에서 볼 수 있듯 작은 것들이 대부분이다.



<그림 17> 애추 C의 종단면도와 기반암 분포

애추 A-C의 단면은 전반적으로 요형(凹形)보다는 직선형에 더 가깝다. 애추 지형은 현재진행형으로 발달하고 있을 경우 직선형, 요형(凹形)이면 화석 지형으로 분류하는 것이 일반적이다. 이에 따르면 독도 서도 어민속소 일대의 애추는 지금도 발달 과정에 있을 가능성이 높다.

한편, 애추가 발달하는 요인은 동결 및 용해, 산사태, 유수 등이 있다. 이를 파악하기 위해서는 애추의 상단부부터 하단부까지 지점별로 암설을 조사할 필요가 있다. 다만 독도에서는 안전상의 문제로 인해 사면 상단부의 암설은 조사하지 못하였다. 이로 인해 독도 서도 어민속소 일대의 애추가 발달하는 요인 중 어느 것의 비중이 더 높은지는 밝혀내지 못하였다.

V. 독도 서도 어민숙소 일대 애추의 발달 원인과 앞으로의 전망

1. 애추 형성 지역의 지형 특성

독도의 해안은 대부분 외해에 노출되거나 또는 기반암이 풍화와 침식에 대한 저항력이 강한 조면안산암으로 되어 있다. 수직에 가까운 단애의 해식 애로 된 해안은 암설의 낙하로 애추가 형성될 수 있는 환경이지만 동해 한 가운데에 위치한 독도의 특성 상 강력한 파랑에 의해 암설이 제거되어 바다로 휩쓸려가기 때문에 애추의 분포는 극히 제한된다. 서도 남동부 어민숙소 배후의 사면 발달과정은 파랑에 의해 하단부의 암석이 제거되고 이에 따라 경사가 더 급해져서 중력에 의해 상부가 붕괴되어 사면이 후퇴하는 독도의 해식에 절벽 해안과 차이가 있다.

동도와 사이에 좁고 얇은 해안에 위치하는 서도 남동부 어민숙소 일대 해안은 해수면 위에 노출된 조면안산암 두께가 대단히 얇고 이보다 위에 응회암이 두껍게 나타나며, 그 위에는 주상절리가 발달한 조면안산암이 분포한다. 그리고 이 사면에는 두 개 이상의 단층선이 통과하여 규모는 작지만 경사가 매우 급한 계곡이 형성되어 있다. 이와 같은 기반암의 특성으로 인해 이 해안은 마치 주머니와 같은 모양으로 된 내만의 형태를 취하고 있다.

독도의 여름철(6~8월) 강수량은 평균 약 600mm에 달하는데, 여름철 강수는 태풍 등의 영향으로 집중호우 위주로 내려 강도가 강하므로 지표를 흐르는 빗물에 의한 사면침식이 상당할 것으로 생각된다. 이 사면의 응회암으로 된 구역에서 타포니¹⁶⁾ 밀도가 낮은 것은 사면침식 속도가 상대적으로 빠른 것을 의미한다. 즉, 타포니가 미처 형성되기도 전에 사면이 침식되는 것이다.

독도를 구성하는 동도와 서도 주변은 수심이 얇아서 5~10m이지만, 이 두 섬 사이의 해역은 더욱 얇아서 대부분 수심이 2m 이하이며 특히 서도의

16) 암석 표면에서 암석 입자가 떨어져 나가면서 형성된, 움푹 파인 구멍이 벌집처럼 모여 있는 풍화 구조. 독도에서는 주로 해수의 염분이 바람을 타고 침투하여 발달.

송곳바위와 반대편의 동도를 연결하는 최단거리 연결선은 수심이 더욱 얇다.

서도와 동도 사이의 해저에는 다양한 입경의 원력¹⁷⁾들이 퇴적되어 있는데, 먼바다에서 접근하는 파랑의 운반과 퇴적작용에 의해 형성된 것이다. 여기에 퇴적된 자갈들은 대부분 독도의 해안에서 해식애가 파랑에 의해 침식되어 후퇴하면서 공급된 것이다. 이들 가운데 대부분은 해면 아래로 운반되어 퇴적되지만, 해안에 퇴적되어 자갈해안을 형성한 구역도 있다. 자갈해안은 서도 동쪽 해안과 북쪽의 물골해안 서도 서쪽의 군함바위와 사이의 해안, 어민숙소 부근의 남동해안과 동도의 선착장 부근의 해안인데, 물골해안과 군함바위의 반대편 해안 외에는 서도와 동도 사이에 위치한다. 서도와 동도 사이는 수심이 2m 이하로 얇고, 먼바다에서 접근하는 파랑이 이 구역으로 진입하기 전에 쇄파가 되어 에너지를 상실한다. 이 구역에서 파랑은 해안에서 제거한 암설을 먼바다로 운반하지 않고 동도와 서도 사이에 퇴적시키는 것으로 생각된다.

애추가 형성되는 데는 다양한 요인들이 작용한다. 그 중에서도 가장 중요한 요인은 사면에서 공급되는 양과 기저부에서 제거되는 양과의 균형이다. 독도와 같이 애추가 해안에 형성되는 경우 암설이 파랑에 의해 지속적으로 제거되어 바다로 휩쓸려간다면 애추가 형성되기 어렵다. 독도에서는 자갈해안이 형성된 지역 외에는 애추가 분포할 가능성이 없다. 이것은 해식애가 후퇴하기 때문에 해안으로 암설을 공급해도 파랑이 암설을 해저로 지속적으로 제거하기 때문이다.

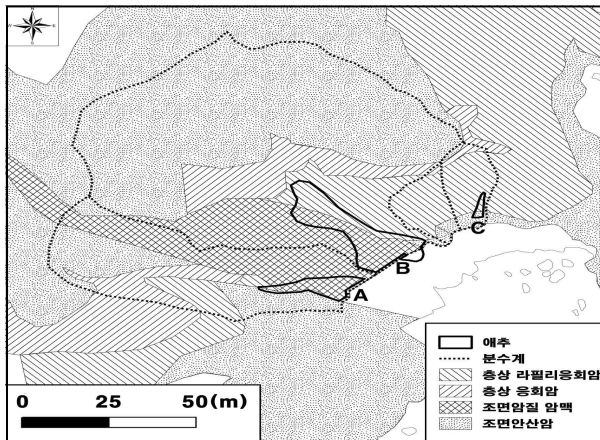
반면 서도 남동해안과 대안의 동도 선착장 사이는 헤드랜드 사이에 주머니 모양의 내만 지형을 형성하고 있어서 파랑의 침식작용과 퇴적작용이 어느 정도 균형을 이루고 있다고 볼 수 있다. 따라서 배후사면에서 해안으로 공급되는 암설량이 파랑에 의해 제거되는 양보다 많으므로 애추가 형성될 수 있다. 다만 애추 A의 경우 하단부에 원래 해식동이 있으므로 애추 B와 C보다 제거되는 암설량이 더 많았을 것이다.

17) 각력과는 반대로 암석 파편의 모서리가 많이 닳아 암석이 전반적으로 원형을 띤 것.

2. 애추의 암설 공급에 기여하는 요인

사면에서 발생하는 매스무브먼트(mass movement)는 포행(creep), 흐름(flow), 슬라이드(slide), 들어올림(heave), 낙하(fall), 침하(subsidence) 등으로 분류된다(Huggett, 2002). 독도의 사면에서 일어나는 주요 작용은 낙하라 할 수 있다. 낙하 현상은 주로 45° 이상의 급사면에서 발생하므로 서도 남동부 어민숙소 배후의 사면은 이러한 조건을 충족한다. 서도 남동해안은 층상 라필리응회암과 층상 응회암에서 토양낙하와 암석낙하가 함께 일어나고, 절리가 발달한 조면안산암과 조면암에서는 암석낙하가 우세한 것으로 생각된다. 서도 남동해안에 분포하는 애추의 암설 공급에 기여하는 요소를 기반암 분포(지질), 사면 경사, 토양층의 두께 분포, 식생 분포로 구분하여 살펴보았다.

1) 기반암 분포



<그림 18> 서도 어민숙소 일대의 기반암 분포

(그림 18)은 서도 어민숙소 일대의 기반암 분포를 나타낸 것이다. 해수면 부근의 기반암은 조면안산암, 조면암질 암맥과 층상 라필리응회암이다. 그 중 상대적으로 파랑의 침식에 대한 저항력이 강한 조면안산암이 두껍게 분포하는 구역은 헤드랜드이면서 수직의 단애로 된 해식애를 이룬다. 조면안산암과 조면암은 응회암에 비해 상대적으로 단단한데, 전반적으로 독도

의 암석은 동해 한가운데에서 거친 풍화와 침식을 받아 육지부의 암석보다 무른 편이다(박찬 외 5인, 2008).

한편 단층선들이 통과하는 조면암질 암맥과 층상 라필리옹회암 구역은 주머니 모양의 내만 경관을 이루고 있다. 조면암질 암맥은 기존 암석에 해당하는 층상 라필리옹회암에 해면과 수직으로 난 틈으로 마그마가 관입¹⁸⁾하여 형성된 것이다. 냉각된 옹회암에 고온의 마그마가 관입하여 냉각되면서 넓혀 놓은 형태인 수평 주상절리가 암맥의 대부분을 차지한다. 이 암맥은 절리 밀도가 높고 암맥 양쪽이 옹회암 계통의 암석이므로 침식에 약하여 파랑에 의해 활발하게 침식되면서 헤드랜드를 형성하지 못하였다. 그러나 주변의 옹회암 계통의 암석들보다는 그래도 전면으로 다소 돌출되어 애추 A와 애추 B의 집수역 분수계를 이루고 있다.

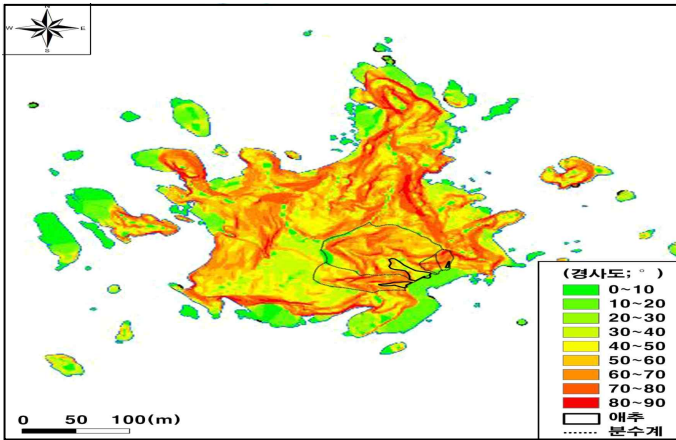
해수면 부근의 조면안산암 위에는 층상 라필리옹회암, 층상 옹회암이 두 겹께 퇴적되어 있다. 이 두 종류의 옹회암은 화산재가 공기 중이나 수중에서 퇴적, 응고하여 생성된 암석으로 풍화와 침식에 대한 저항력이 약하다. 따라서 조면암질 암맥, 조면안산암보다는 침식이 활발히 진행되어 뒤로 후퇴한 모양새를 띄고 있다.

옹회암보다 상부에는 분수계까지 조면안산암으로 되어 있다. 이 구역은 사면 경사가 상대적으로 완만하여, 기반암 위에 생성된 얇은 토양층에 식생이 비교적 번성하고 있다.

2) 사면 경사

서도를 포함하여 독도의 사면은 대부분 급경사로 이루어져 있다. 그 중 해안의 파식대와 섬 정상부 일부 구역은 30° 미만의 평지 혹은 완경사이지만, 나머지 사면은 대부분 30° 이상의 급경사이다(그림 18). 특히 해안의 해식애는 수직에 가깝다. 또한 단층선이 통과하며 층상 라필리옹회암이 두 겹께 분포하는 서도 어민숙소 일대의 협곡 사면은 경사가 50° 이상이다. 이는 사실상 절벽에 가까운 수준이다. 반면 분수계 정상부와 애추의 암설이 퇴적

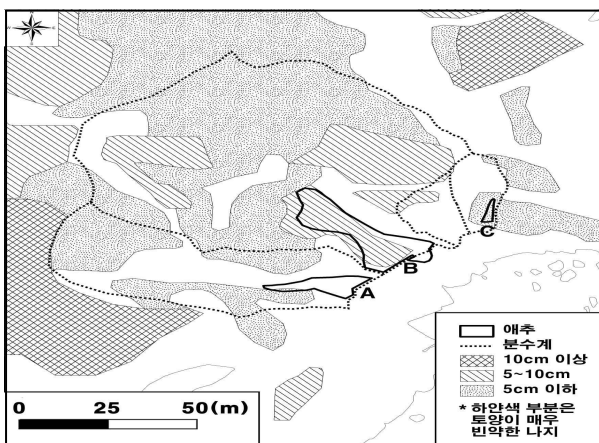
18) 원래 존재하던 암석을 마그마가 뚫고 들어가는 것.



<그림 19> 독도 서도의 지면 경사도

된 하부는 사면경사가 상대적으로 완만하다. 애추는 기본적으로 낙하 운동에 의해 일어나기 때문에 경사가 급한 구역에서 암설이 활발하게 공급되고 있을 것이다. 서도 어민숙소 일대에서는 경사가 급한 구역에 주로 풍화, 침식에 의한 응회암 계통의 기반암이 분포하여 암설이 더욱 활발하게 공급되고 있는 것으로 보인다.

3) 토양 분포



<그림 20> 서도 어민숙소 일대의 토양층 두께

(그림 20)는 서도 어민숙소 일대의 토양층 두께를 나타낸 것이다. 애추 A의 암설이 쌓여 있는 곳은 토양이 거의 없으나 애추 C의 암설이 쌓여있는 곳은 5cm 이하, 애추 B의 암설이 쌓여 있는 곳은 5~10cm 두께의 토양층이 분포한다. 현지 조사에서 직접 확인한 결과, 이와 같은 토양층의 두께는 애추의 암설 위에 피복된 토양의 두께를 의미하는 것은 아니다. 애추 A의 암설에는 토양이 약간 포함되어 있으며, 애추 B에는 토양이 다소 많이 포함되어 있다. 그리고 애추 C에는 토양층이 거의 없는 것으로 되어 있으나, 실제로는 pebble급 자갈들로 된 암설 사이사이에 토양이 약간 포함되어 있다.

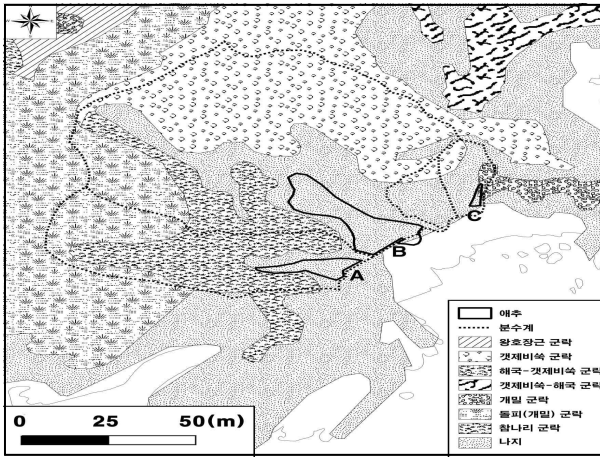
서도 어민숙소 일대의 토양 분포와 식생 분포와 비교하면 식물들은 토양의 두께가 얇아도 서식할 수 있는 것을 알 수 있다. 특히 절리가 있는 응회암이나 조면암, 조면안산암에는 절리에 뿌리를 내리고 식생들이 자리잡는다. 식물은 토양이 빈약하고 단단한 암석이 있는 곳이라 하더라도 절리가 있다면 충분히 서식한다. 그러나 절리의 밀도가 너무 높거나 사면 경사가 급하여 지반안정성이 낮은 곳에는 식물이 안정적으로 자리잡기 어려워 식생이 빈약한 경우도 있다.

애추 A는 분수계 상부부터 하부까지 토양층이 빈약한 구역이 골고루 나타나는 반면 애추 B와 C는 주로 분수계 상부에 토양층이 빈약한 구역이 나타난다.

4) 식생 분포

(그림 21)은 서도 어민숙소 일대의 식생 분포를 나타낸 것이다. 애추 A는 암설이 쌓인 곳에는 일부 해국-갯제비쭉군락이 서식하고, 집수역 상부에는 돌피(개밀)군락이 분포한다. 애추 B는 암설이 쌓인 곳은 나지이며 집수역 상부에 돌피(개밀)군락, 해국-갯제비쭉군락, 갯제비쭉군락이 분포한다. 애추 C는 암설이 쌓인 곳은 나지이며 집수역 상부에 갯제비쭉군락, 개밀군락이 서식한다.

독도에서 식생 분포는 기반암 분포, 사면 경사와 토양 분포를 반영한다. 아울러 식생피복은 동결과 융해의 반복에 의한 기계적풍화작용과 염풍화의 영향을 완화하여 풍화작용을 제어한다(황상일 외 2인, 2009). 식생이



<그림 21> 서도 어민숙소 일대의 식생 분포

빈약한 사면은 매스무브먼트 발생에 유리한 환경이 조성되는데, 서도 남동해안 애추들의 집수역은 식생으로 피복되지 않은 범위가 넓다.

사면 경사가 완만한 분수계 부근의 조면안산암 구역은 토양층이 5cm 이하이지만 식생이 분포한다. 그러나 응회암 구역은 사면 경사가 매우 급하므로 식생은 거의 없다. 토양이 피복되지 않고 노출된 응회암 단애에서는 기반암이 기계적 풍화작용을 심하게 받는데, 침식과 풍화에 대한 저항력이 약하고 절리밀도가 높은 경우에는 암설이 많이 나온다. 그리고 독도의 경우 섬 전체가 염분의 비말의 영향을 받는데, 조면안산암이나 조면암보다 응회암이 염풍화작용을 일으켜 타포니의 규모가 크고 밀도가 높다(황상일·박경근, 2007). 남동해안의 배후사면에서 식생이 빈약한 응회암 지역은 지속적으로 기계적 풍화작용과 염풍화작용을 받고 있으며, 장마 기간과 태풍이 오는 시기에 집중호우가 발생하면 지표류¹⁹⁾에 의한 침식으로 이들 작용을 증폭시킬 것으로 생각된다.

서도 어민숙소 일대에 서식하는 식물들은 토양층 두께가 5cm 이하이면 경사가 가파른 매우 척박한 환경에 적응하며 서식하고 있다. 따라서 토양층에만 뿌리를 내리게 되면 생존이 어려우므로 토양층 아래의 기반암 절

19) 빗물이 하천으로 유입되기 전에 암반 등의 지표면 위를 흐르는 것.

리에도 뿌리를 내려야 뿌리를 단단히 고정하고 영양분과 수분을 흡수할 수 있다. 이 경우 식물 뿌리가 더 뻗어나가면 절리가 확대되면서 기반암 표면을 해체하여 암설을 생산할 수 있다. 실제로 현지 조사에서 애추 A, B의 식생이 없는 지표면에 식물 뿌리가 암설과 섞여 관찰되는데, 이것은 식물이 절리에 서식하면서 기계적으로 풍화를 촉진한 흔적으로 생각된다. 즉, 식물이 절리에 뿌리를 내리면서 절리가 확대되다가 암석이 부서지면서 식물과 암설이 함께 낙하한 것이다.

3) 서도 어민숙소 일대의 애추 지형 발달

최근 수년 동안 서도의 어민숙소가 증축되고 해안에 콘크리트 선착장이 조성되었다. 이로 인해 해안 부근의 애추 하단의 암설들이 상당히 많이 제거되면서 인위적인 지형 변형이 발생하였다.

이 지역의 애추가 형성된 시기에 대한 자료는 없으나 밀양 얼음골과 같이 한반도 육지부 내륙에 분포하는 애추의 형성 시기와 비교하여 생각할 수 있다. 한반도 내륙 지역의 애추는 일주적 동결 및 융해가 길었던 빙기에 절리 밀도가 높은 기반암의 단에서 공급된 암설이 낙하하여 급사면이나 단애의 기저부에 퇴적된 것이다(전영권, 2005). 즉, 빙기에는 지금보다 겨울이 길었기 때문에 절리 사이에 침투한 물이 하루 사이에 얼었다 녹았다를 반복하는 현상이 활발했던 것이다. 그러므로 한반도 내륙 지역에 분포하는 애추는 후빙기에 일주적 동결 및 융해 현상이 둔화되어 암설 공급이 중단된 후 빙기에는 더 이상 성장을 하지 않으므로 화석지형²⁰⁾으로 분류된다.

해면이 현재보다 약 140m 가량 아래에 있었던 마지막 빙기 동안 독도를 포함한 독도해산의 정상부 대부분은 육지화되었다. 그리하여 현재 해안선 부근은 높은 산지가 되어 이전의 그 전 간빙기에 형성된 거의 수직에 가까운 해식애가 높은 산 속의 단애로 변하여, 이곳으로부터 공급된 암설이 규모가 큰 애추를 형성하고 이러한 애추들이 횡방향으로 연결되어 있었을 것이다.

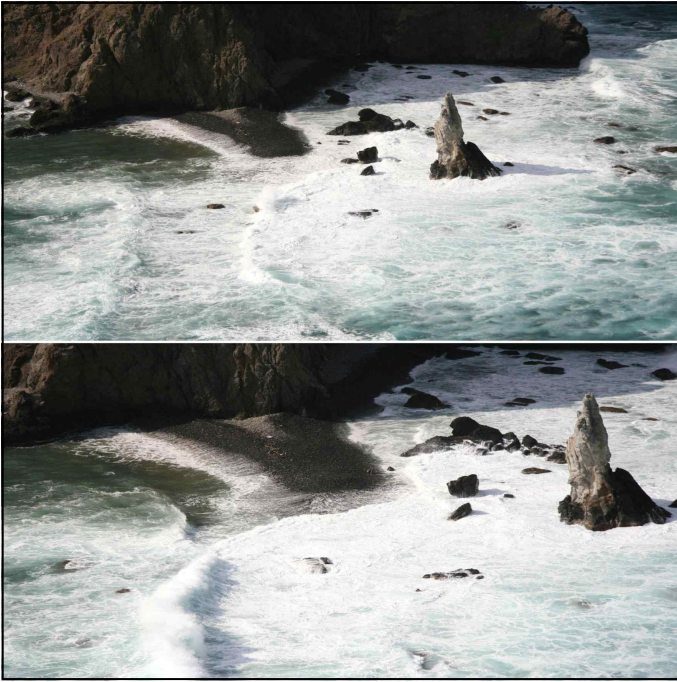
20) 과거에 발달한 지형이 현재까지 남아있는 지형.

그리고 마지막 빙기가 끝나고 해면이 급격하게 상승하여 현재 수준에 도달한 약 7,000년 전에는 독도 주변 해역의 수심은 현재보다 약간 더 깊었다. 이에 따라 에너지가 큰 파랑이 애추 하단의 암설을 제거하기 시작하였다. 그 후 해면이 안정된 가운데 파식대를 형성하면서 해식애가 후퇴하고, 먼 바다에 노출된 해안이나 헤드랜드에서 애추의 구성 물질들은 해저로 운반되었다. 이와 같은 과정을 통해 현재 독도의 대부분 해안에서 애추는 분포하지 않는다.

그러나 지금의 서도 어민숙소 일대의 해안은 내만 지형이었으므로 암설이 완전히 제거되지 않았을 가능성이 있다. 이와 같은 과정을 거쳐 남아있었던 빙기의 암설 위에 후빙기에 집수역 사면으로부터 공급된 암설이 피복되어 현재의 애추를 이루었다고 추정된다. 후빙기에 암설이 공급된 것은 비교적 최근에 조성된 탐방로 계단에 수년 동안 상당한 양의 암설이 쌓이는 것을 통해 알 수 있다.

독도에 태풍이 통과할 때와 같이 에너지가 큰 파랑이 접근하면 어민숙소 일대 애추의 하단부까지 영향을 미친다. 이와 같은 파랑은 자갈해안과 애추 하단부의 자갈을 바다 쪽으로 운반할 수 있다. 그러나 이런 파랑에 의해 해안의 자갈해안이 얼마나, 어떻게 침식이 되었는지에 대해서는 자료가 없다. 특히 서도 어민숙소 일대에는 콘크리트 구조물이 들어서면서 자갈해안의 원형을 훼손하여 알기가 더욱 어렵다.

다만 2007년에 태풍이 왔을 때 동도와 서도 사이의 해역에서는 북동쪽과 남서쪽에서 함께 접근하여 해협의 중간에 분포하는 수심 2m 이하인 지역에서 파랑이 충돌하는 모습이 관찰되었다(그림 21). 이와 같은 과정을 통해 동도와 서도 사이의 해역에 퇴적물이 공급되면, 이 해협의 수심은 지속적으로 알아진다. 그리고 자갈해안에서 헤드랜드와 사면에서 애추를 통해 운반되는 자갈 공급과 파랑에 의한 침식이 균형을 이루면 자갈해안은 균형을 이루고, 파랑이 애추 하단부의 암설을 제거하는 작용이 둔화되면 규모가 점차 커질 수 있을 것이다.



<그림 22> 동도와 서도 사이에서 일어난 파랑의 충돌

이와 같은 추정에 대해서는 두 가지 변수가 있다. 첫째, 어민숙소와 선착장을 보호하기 위해 주기적으로 애추의 암설을 인위적으로 제거하고 있다는 것이다. 현재와 같이 인간의 간섭이 지속되면 자갈해안의 규모가 축소되고 애추의 규모도 축소될 가능성이 있다. 둘째, 지구온난화에 의한 해면상승은 파랑으로 인한 침식을 활발하게 만들고, 자갈해안의 침식 역시 활성화되어 애추의 하단이 침식되어 애추의 규모를 축소시킬 것으로 생각된다.

Ⅵ. 결론 및 시사점

독도에서 어민숙소가 있는 서도 남동해안의 배후사면과 자갈해안의 경계부에는 세 개의 애추가 형성되어 있다. 이들은 각각 해안으로부터 해발고도 29m, 40m, 14m까지 암설이 퇴적되어 있다. 이들 가운데 중앙에 위치한 애추의 규모가 가장 크다. 애추가 분포하는 구역에는 어민숙소와 콘크리트로 된 접안시설, 그리고 탐방로 계단이 설치되어 있어서 원형이 훼손되었으며 지속적으로 인간의 간섭을 받고 있다.

이들 애추의 형성 과정을 살펴보면 어민숙소 일대에는 조면안산암으로 된 헤드랜드는 비교적 침식에 강해 원형을 유지하고 있는 반면, 응회암층이 두꺼운 배후사면은 침식에 약해 해식애가 깎여나가 계곡이 형성되었다. 이 계곡을 통해 애추의 암설이 해안으로 흘러내린다. 애추가 형성되는 데 가장 중요한 요인은 사면에서 공급되는 양과 기저부에서 제거되는 양과의 균형이다. 동도와 서도 사이의 해협은 대부분 수심이 2m 이하로 얇고, 먼바다에서 접근하는 파랑이 퇴적물을 이 해협에 퇴적시키므로 수심은 지속적으로 얕아진다. 그러므로 인간의 간섭이 없다면 자갈해안은 축소되지 않고 균형을 유지하며, 파랑이 애추로부터 암설을 제거하는 현상이 둔화된다면 애추는 점차 규모가 커질 것이다.

계곡을 통해 애추로 암설을 공급하는데 영향을 미친 요인은 배후사면의 기반암 특성, 단층선의 밀도, 사면 경사, 식생 피복, 토양의 분포 특성 등이다. 어민숙소의 배후사면에는 적어도 두 개의 단층선이 통과하며 풍화에 약한 응회암층이 두껍게 분포하여 암석이 쉽게 부서진다. 그러므로 암설을 공급하는데 유리하다. 그리고 응회암층의 사면 경사가 급하여 토양층이 얇거나 기반암이 노출되어 식생이 번성하지 못하여 기계적 풍화작용과 열풍화작용이 비교적 활발하다는 점도 암설을 공급하는데 유리한 부분이다.

해수면이 현재보다 140m 정도까지 하강하였던 마지막 빙기에 지금보다 규모가 컸던 독도에서는 당시 높은 산지였던 현재의 해안을 따라 이전 간빙기에 형성된 해식애가 산 속 깊은 단애로 변하였을 것이다. 이러한 단애로부터 암설이 공급되어 급경사면이나 단애의 하단부에 많은 애추가 형성되

었을 것이다. 그리고 마지막 빙기 이후 후빙기에 해면이 상승하여 해면이 현재 수준으로 상승한 약 7,000년전부터는 애추를 이루고 있던 암설들이 바닷물에 잠겨 파랑에 의해 제거되었으므로 현재 독도 해안의 대부분에서 애추는 분포하지 않는다. 그러나 서도 어민숙소 일대에서는 앞서 설명한 바와 같은 지형적인 영향으로 빙기의 암설이 완전히 제거되지 않고 어느 정도 남아 있었으며, 그 위에 집수역 사면으로부터 공급된 암설이 더 쌓여 현재의 애추 경관을 이루었을 것으로 추정된다. 다만, 현재 애추의 형성 요인을 정확히 밝혀내는 것은 추후 과제로 남았다.

애추를 비롯한 매스무브먼트 현상은 기본적으로 산을 이루는 암석이 부서지고, 부서진 물질인 암설이 산 아래로 흘러내려 산의 크기를 줄어뜨리게 만드는 작용이다. 독도 역시 하나의 산으로 본다면, 애추가 발달한 서도 어민숙소 일대는 서도의 크기를 줄어뜨리게 만드는 현상이 일어나고 있는 것이다. 사실 독도는 서도 어민숙소 일대 뿐만 아니라 애추가 없는 다른 구역에서도 파식대가 확장되고 해식애가 후퇴하면서 섬의 크기가 줄어드는 작용이 일어나고 있다. 물론 이러한 작용들이 일어난다고 해서 당장 빠른 시일 내에 독도가 사라지지는 않을 것이다. 그러나 지구온난화가 지속된다면 눈에 보이는 애추의 규모는 줄어들 수 있을지라도, 전반적으로는 독도를 점차 잠식하여 독도의 크기가 줄어드는 현상을 가속화할 수 있다.

그리고 서도 어민숙소 주변의 애추는 인간이 만든 시설물에 의해 원형이 많이 훼손되어 있다. 이는 애추가 앞으로 어떻게 변화할지 예측하는 것을 어렵게 하고 있다. 이는 곧 애추 주변의 시설물에 대한 안전을 확보하는 것에도 적신호를 켜게 할 수 있다. 애추의 원형을 파악해야 애추의 특성과 앞으로의 변화를 예측하여, 애추 주변 시설물이 애추에 의해 피해를 입기 전에 선제적으로 예방할 수 있지만 지금의 상황에서는 이것이 어려운 실정이다. 서도 어민숙소 일대 애추에는 인간의 출입이 빈번한 것은 물론 어민숙소에 상주하는 인원이 있다는 것을 감안하면 시설물 안전 문제는 그 중요성을 간과할 수 없다.

독도의 자연환경을 보존하기 위해서는 인공 시설물을 최소화하는 것이 이상적이다. 그러나 독도는 역사학, 정치학적으로 큰 주목을 받으면서 섬의

규모에 비해 대규모의 인공 시설물이 들어서 있다. 서론에서 말한 바와 같이 독도는 역사학, 정치학 분야뿐만 아니라 자연과학 분야에서도 가치가 매우 큰 섬이다. 이러한 독도가 계속해서 인공 시설물로 인해 훼손되면 자연과학적인 가치가 떨어질 우려가 있다. 그러므로 궁극적으로는 독도의 역사학, 정치학적 문제가 해결되면서 독도의 자연과학적 가치를 지키는 방안을 강구할 필요가 있다.

참고문헌

- 강지현, 『독도해산의 사면침식으로 인한 지형변화와 독도사면안정성 분석』, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문, 2008.
- 박선인, 『독도 서도응회암의 분출 및 퇴적작용』, 경상대학교 대학원 석사학위논문, 2021.
- 박재홍 외 9인, 『(8th) 독도 천연보호구역 모니터링』, 문화재청 외 2개 기관, 2020.
- 박찬 외 5인, 「독도 암석의 역학적 특성에 관한 연구」, 『터널과 지하공간』, 18(1), 2008, 69-79.
- 전영권, 「독도의 지형지(地形誌)」, 『한국지역지리학회지』, 11(1), 19-28, 2005.
- 황상일·박경근, 「독도 동도 서쪽 해안의 타포니 지형 발달」, 『한국지역지리학회지』, 13(4), 2007, 422-437.
- 황상일 외 2인, 「독도 서도 북서 해안의 Holocene 기후변화와 타포니지형발달」, 『한국지형학회지』, 16(1), 2009, 17-30.
- 황상일 외 2인, 「독도 서도 및 동도 남부 해안의 파식대 지형 발달」, 『한국지형학회』 2019.
- 황상일 외 2인, 「독도 서도 남동해안의 애추 지형발달」, 『한국지형학회지』, 29(1), 2022, 13-30.
- Huggett, R. J., 2002, 『Fundamentals of Geomorphology』, Taylor & Francis Group.