

울릉도·독도 국가지질공원의 지질유산적 가치와 관리현황

배수경¹ · 추창오^{2,*}

¹울릉군청 환경산림과 환경지질담당

²경북대학교 지질학과

요 약

동해에 위치하는 울릉도·독도는 460만 년 전부터 약 5천년까지 일어난 화산활동으로 형성된 우리나라의 대표적인 화산섬으로서 지질다양성이 뛰어나서 2012년 12월에 제주도와 함께 국내 최초로 국가지질공원으로 인증 받았다. 이 논문에서는 울릉도·독도 국가지질공원의 지질명소의 지질유산적 가치와 지질공원을 효과적으로 운영하기 위한 제도적 뒷받침과 시설확충, 교육프로그램 운영 등을 소개하고, 향후 활동계획을 제시하고자 한다. 울릉도·독도 국가지질공원에는 이중분화구, 주상절리, 시스택, 해식동굴, 해식절벽 등 다양한 지질학적 특징을 보여주며, 다음과 같이 총 23개의 지질명소가 있다. 즉 울릉도에는 봉래폭포, 저동 해안산책로, 도동 해안산책로, 죽도, 거북바위 및 향나무자생지, 국수바위, 버섯바위, 학포 해안, 황토굴, 태하 해안산책로 및 대풍감, 노인봉, 송곳봉, 코끼리바위, 용출소, 알봉, 성인봉 원시림, 죽암몽돌해안, 삼선암, 관음도 등 총 19개소, 독도에는 숫돌바위, 독립문바위, 삼형제굴바위, 천장굴 등 4개소가 있다. 울릉도·독도에는 뛰어난 지질유산 외에도 생태, 문화, 역사, 고고학적으로도 귀중한 자원이 풍부하다. 이와 같이 울릉도·독도 국가지질공원에는 육지와 차별된 다양한 지질유산이 있으며, 특히 국가영토수호 차원에서 중요한 역할을 하는 곳인 만큼 국민과 정부의 지속적인 관심과 체계적인 지원이 요구된다.

주요어: 화산섬, 지질다양성, 울릉도·독도 국가지질공원, 지질명소

Su Gyeong Bae and Chang Oh Choo, 2016, Geological heritage of the Ulleungdo·Dokdo National Geopark and its management system. Journal of the Geological Society of Korea. v. 52, no. 5, p. 739-761

ABSTRACT: Ulleungdo and Dokdo located in East Sea, Korea are representative volcanic islands formed by volcanic activities taken place during the period ranging from 4.6 Ma to 5 ka, with valuable geodiversity. As of December 2012, the Ulleungdo·Dokdo geopark was certified as the national geopark of Korea, together with the Jeju geopark. This paper provides a brief review on the geological characteristics of geosites and presents various activities such as systematic management, facilities and education programs for the Ulleungdo·Dokdo national geopark, with effective future plans. This geopark is composed of various geological features such as double craters, columnar joints, sea stacks, sea caves and sea cliffs. There are 23 geosites in this area as follows: 19 sites in Ulleungdo including Bongrae waterfall, Jeodong seaside walkway, Dodong seaside walkway, Turtle rock & the natural habitat of Juniper growing wild, Noodle rock, Mushroom rock, Hakpo beach, Red soil cave, Taeha seaside walkway and Daepunggam, Old man peak, Needle peak, Elephant rock, Yongchulso spring, Albong peak, Seonginbong primeval forest, Jukam shingle beach, Samseonam seastack, Gwaneumdo islet, Jukdo islet, 4 sites in Dokdo including Whetstone rock, Independence gate rock, Three brothers cave rock, and Ceiling cave, respectively. Besides attractive geological heritages, there are a lot of valuable assets in ecology, culture and history, and archaeology in the geopark. Because the Ulleungdo·Dokdo national geopark not only preserves excellent natural heritages such as geosites, ecology, and history with great intrinsic value, quite different from those of the Korean peninsula, but also plays an important role as an advance guard for the territorial integrity, national attention and more systematic support by the central government should be constantly given.

Key words: volcanic islands, geodiversity, Ulleungdo·Dokdo national geopark, geosite

(Su Gyeong Bae, Geopark Team, Environment and Forest Division, Ulleung-Gun Provincial Office, Gyeongbuk 40222, Republic of Korea; Chang Oh Choo, Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea)

* Corresponding author: +82-53-950-7194, E-mail: mineralogy@hanmail.net

1. 서 언

지질공원이란 특별한 과학적 중요성, 희귀성, 또는 아름다움을 지닌 곳으로 지질학적 중요성뿐만 아니라 생태적, 문화적, 역사적, 고고학적 가치도 함께 지니고 있어 이를 보전하고, 교육과 관광을 통하여 지역경제 발전을 도모하는 지역으로서 세계지질공원과 국가지질공원으로 구분할 수 있다.

국가지질공원은 지구과학적으로 중요하고 경관이 우수한 지역으로서 이를 보전하고 교육 및 관광 사업 등에 활용하기 위하여 자연공원법에 따라 환경부장관이 인증한 공원을 말한다(National Geoparks of Korea, 2013). 우리나라의 국가지질공원은 2012년 12월 27일, 울릉도·독도가 제주도와 함께 국내 최초 국가지질공원으로 인증 고시되었고, 뒤를 이어 부산(2013년), 청송, 강원평화지역, 무등산권(2014년), 임진·한탄강(2015년)이 국가지질공원으로 인증을 받아 현재 우리나라에는 총 7개의 국가지질공원이 운영 중이다. 국가지질공원 인증기간은 인증 고시일로부터 4년이며, 4년마다 재평가를 실시한다. 국내 국가지질공원 간 교류와 협력을 통하여 국가지질공원

의 효율적인 운영을 도모하기 위하여 2013년부터 매년 국가지질공원 심포지엄(워크숍, 해설사 경진대회 등) 행사를 가지고 있으며, 2014년에는 한국지질공원 네트워크(KGN, Korea Geopark Network)가 출범 하였다.

세계지질공원(Global Geopark)은 세계지질공원 인증 신청서를 제출한 후 현지실사 등을 통해 자격을 부여받아 유네스코 세계지질공원 네트워크(UGGN) 회원으로 가입된 지질공원을 의미하며, 4년마다 재 평가가 이루어진다. 현재 우리나라에서는 제주도가 유일하게 세계지질공원으로 인증받은 상태이다. 세계지질공원에 가입한다는 것은 ‘지정’이 아닌 ‘인증’을 의미하는데, 이는 이미 세계지질공원으로서 충분한 자격을 가지는 특정한 지질공원을 유네스코가 인증한다는 방식이다(Woo, 2014). 이에 국내의 국가지질공원들도 범세계적인 수준의 지질공원을 지향하고자, 체계적으로 세계지질공원 인증을 준비하는 중에 있다.

울릉군은 지질공원 등재를 위하여 2009년 타당성 조사용역을 시작으로 2010년부터 2011년까지 기초 학술조사를 실시하였다. 2012년 10월, 읍·면(울릉읍,



Fig. 1. Certification process of the national geopark. (a) Hearing for the residence, (b) Actual inspection for the certification, (c) A ceremony for certification of the national geopark, (d) A monument for certification in front of the county office.

서면, 북면)에서 주민공청회와 군수의 의견청취 절차를 거친 뒤 지질공원 인증신청서와 자체평가표, 지질공원 운영·관리계획서 등 관련서류를 환경부에 제출하였으며, 2012년 11월 지질공원위원회 현지실사 후, 12월 심의를 통해 2012-249호로 인증 고시되었다(그림 1). 인증 후 이듬해부터 울릉도·독도 국가지질공원 운영을 위한 예산의 일부를 환경부와 경상북도로부터 지원받고 있다(국비 50%, 도비 25%, 군비 25%).

한편 울릉도·독도 국가지질공원은 127.9 km²의 면적으로서 울릉군 전 지역에 해당하며, 울릉도·독도의 육상면적 72.8 km²에 해안선에서 해상 1 km까지 면적인 55.1 km²까지가 포함된다. 이곳에는 총 23개소의 지질명소가 있는데, 울릉도에는 19개소(봉래폭포, 저동 해안산책로, 도동 해안산책로, 죽도, 거북바위 및 향나무자생지, 국수바위, 버섯바위, 학포 해안, 황토굴, 태하 해안산책로 및 대풍감, 노인봉, 송

곳봉, 코끼리바위, 용출소, 알봉, 성인봉 원시림, 죽암몽돌해안, 삼선암, 관음도), 독도에는 4개소(숫돌바위, 독립문바위, 삼형제굴바위, 천장굴)가 있다(그림 2, 3).

지질공원은 지질 및 경관의 가치뿐만 아니라 관리구조, 해설 및 환경교육, 지질관광, 지속가능한 지역경제발전에 기여함이 중요하다. 본 논문에서는 울릉도·독도 국가지질공원내 지질명소의 지질유산의 가치를 소개하고, 이들의 관리·운영 현황과 향후 계획을 제시하고자 한다.

2. 울릉도, 독도의 지질 개관

2.1 울릉도의 지질

울릉도는 신생대 제3기 말인 플라이오세(Pliocene)에서 제4기 홀로세(Holocene)까지의 화산활동으로

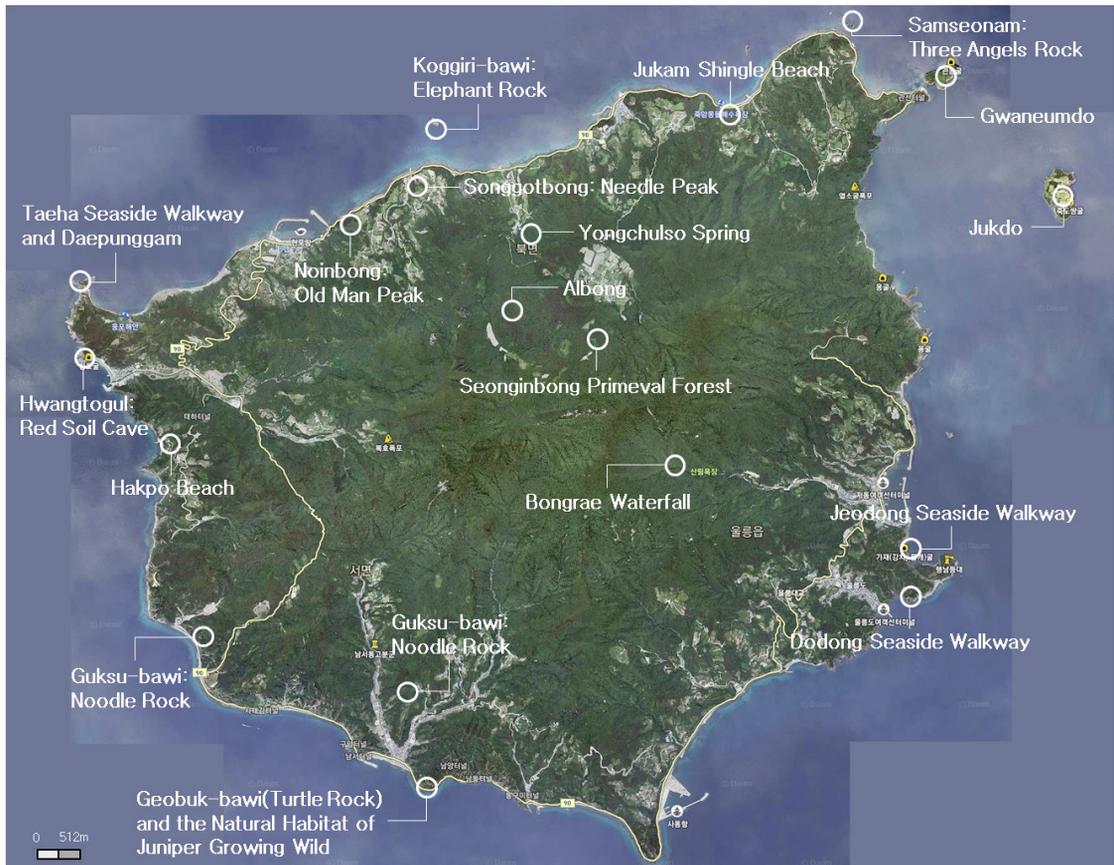


Fig. 2. Location map of geosites in Ulleungdo.

형성되었으며, 매우 높은 알칼리 함량을 보이며 대부분 K계열의 분화경향($K_2O > Na_2O$)을 띠는 등 상당히 분화가 진행된 암석들로 이루어져 있다(Song *et al.*, 1999). 화산암의 산출상태, 화산분출물의 특징, 암석의 절대연령 등에 의해서 울릉도의 화산활동시기를 크게 5기로 나누는데, 하부로부터 상부로 가면서 현무암질 집괴암류, 조면암질 집괴암류, 조면암류, 조면암질 부석류, 조면안산암질류가 분포한다(Kim and Lee, 1983; Won and Lee, 1984; Min *et al.*, 1988). 또한 최근 작성된 한국지질자원연구원 1:5만 지질도에 따르면, 울릉도의 화산층서는 화산유평회 혹은 부정합을 기준으로 4개 층군, 즉 현무암질암류, 울릉층군(화산쇄설암류, 하부 조면암질암류), 성인봉층군(상부 조면암질암류, 포놀라이트질암류), 나리층군(칼데라형성 화산암류, 조면안산암질암류)으로 구분된다(Hwang *et al.*, 2012).

울릉도 초기 화산활동 결과로 형성된 현무암질 집괴암류 내지 현무암질암류 내 화산암력의 연대에 의하면 대부분 250만년 전(2.12 ± 0.32 Ma) 이후부터 분출된 것이다(Kim and Lee, 1983; Kim *et al.*, 1999; Song

et al., 2006). 울릉도의 화산암류는 알칼리계열이 특징적인데, 분출시기에 따라서 화학조성의 차이가 있지만 그마의 분별결정작용을 통하여 분화된 것이다(Kim and Lee, 1983; Won and Lee, 1984; Song *et al.*, 1999).

한편, 나리칼데라와 알봉은 울릉도의 마지막 화산활동의 결과물로 간주되는데, 나리층군 칼데라형성과 관련된 화산암류에 포함된 탄화목의 ^{14}C 연대는 약 19~5.6 ka B.P이다(Okuno *et al.*, 2010; Im *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2014; Hwang and Jo, 2016). 두꺼운 부석질이 특징인 나리테프라층은 울릉도 화산활동기 최후기 단계에서 최소 5번에 이르는 다양한 화산분출이 있었음이 밝혀졌다(Kim *et al.*, 2014). 특히, 울릉도 최후기 화산쇄설층을 대표하는 나리테프라층의 최하부(Member N-5) 부석질 퇴적층내 탄화목은 소나무과 중 가문비나무속(*Picea* spp.)에 속하며 최외각 나이테의 연륜은 19,710 cal BP 로 나타난 것으로 보아, 후기 플라이스토세 동안 울릉도가 한랭습윤한 기후였음을 지지한다(Im and Choo, 2015). 놀랍게도 울릉도는 지난 1만여 년 이내에도 여러 번의 화산분출 활동이 있었음을 보여주는데(Kim *et*



Fig. 3. Location map of geosites in Dokdo.

al., 1999, 2014; Im et al., 2012; Im and Choo, 2015; Hwang and Jo, 2016), 이로 보아 울릉도를 향후 분화의 가능성이 있는 활화산으로 간주해야 할 필요성이 있다. 나리칼데라와 관련된 화산성 쇄설암의 분출량을 토대로 추정된 화산폭발지수(VEI, volcanic explosivity index)는 1~6 범위를 나타낸다(Hwang and Jo, 2016).

2.2 독도의 지질

독도는 울릉도 동남쪽 87.4 km 지점에 위치한다. 총 면적은 187,554 m²로서 동도 73,297 m², 서도 88,740 m², 그리고 기타 부속도서(89개)의 면적은 25,517 m²이다. 동도의 최대높이는 98.6 m, 서도의 최대높이는 168.5 m이며, 동도의 둘레는 2.8 km, 서도의 둘레는 2.6 km에 이른다. 독도는 하부에서부터 조면암 용암, 괴상 응회질 각력암, 층상 라필리 응회암, 조면 안산암 용암, 스코리아성 라필리 응회암, 상부 조면암 용암, 각력암, 조면암 관입체와 조면암맥 등 8개의 암석단위로 구성된다(Sohn and Park, 1994). 독도의 화산암들은 울릉도와 흡사하게 알칼리 화산암의 암석화학적 특징을 보이는데 (Kim et al., 1987; Song et al., 2006), 이는 지체구조상으로 같은 지역에 위치하는 독도와 울릉도가 암석학적으로도 동일한 과정을 통하여 형성되었음을 지시한다.

독도의 화산체형태는 해저산이 해수면 위로 성장함에 따라 분출 및 퇴적작용이 반복되면서 다양한 암상을 보이는데, 초기에는 조용한 용암분출이었으나, 해저산이 점차 해수면 위로 상승함에 따라 수성 화산활동에 의한 폭발적인 분출로 변화하였으며, 해수면 위로 해저산이 완전히 상승한 후에는 대기 중으로의 용암분출 및 화성쇄설성 분출특성을 보인다(Sohn and Park, 1994). 독도화산체는 성층화산으로서, 현재 관찰되는 해수면 위의 독도는 이 성층화산의 외륜 남서부 잔류체에 해당하며, 칼데라의 화구는 독도 북동부 수백 m의 근거리에서 위치하고 있는 것으로 추정된다(Sohn and Park, 1994; Hwang and Jeon, 2003). 해수면 아래의 독도 화산체는 거대한 순상화산을 닮은 평정해산이며, 해저를 포함한 화산체 전체를 고려한다면 거대한 평정해산 위에 작은 성층화산을 갖는 복식화산의 특징을 가진다(Hwang and Jeon, 2003).

해수면 상에 노출된 독도의 암석분석에서 유추된

독도의 생성시기는 신생대 제3기 플라이오세 전기부터 후기, 약 460만 년 전부터 약 210만 년 전 사이로 알려져 있다(Sohn and Park, 1994; Hwang and Jeon, 2003).

3. 주요 지질명소의 지질유산적 가치

3.1 봉래폭포

봉래폭포는 울릉도 남동부 내륙에 위치하는 대표적인 지질명소로서, 하부로부터 조면암질 집괴암, 라필리응회암, 조면암으로 구성되며, 폭포의 형태는 3단이다. 총 낙차는 약 30 m, 약 3,000 톤/일 이상의 유량이며, 규모와 수량면에서 울릉도에서 가장 웅장한 폭포이다(그림 4a, 4b). 이처럼 폭포가 여러 단으로 구성된 것은 암석들 간의 강도 차에 의해 차별침식을 받은 것으로, 응회암이나 집괴암에 비해 조면암이 침식에 강하기 때문이다. 봉래폭포는 울릉도 북서쪽에 위치한 나리칼데라를 중심으로 강수가 지하로 스며들어 함양(recharge)된 지하수가 급사면을 만나서 지표로 용출하는 형태이다.

봉래폭포 주변 산책로에는 수려한 자연경관과 더불어 풍혈, 사방댐, 삼나무 삼림욕장 등이 조성되어 있다. 특히 냉기가 사시사철 일정하게 뿜어져 나오는 풍혈은 봉래폭포 진입로 일대에 분포하는 조면암질 암괴의 애추(talus)에서 발달한다. 이같은 풍혈은 울릉도 북부지역인 북면 천부리 일대의 조면암질 애추에서도 형성되어 있다.

3.2 저동 해안산책로

저동 해안산책로에는 울릉도 최하부 지층인 현무암질 집괴암 내지 현무암질암류가 분포하는데(그림 4c, 4d), 도동해안 산책로와 유사한 암상으로 구성되어 있다. 즉 기존의 여러 지질도 상에서는 현무암질로 표기되어 있으나, 실제적인 암상은 복잡하고 다양한 용암류와, 응회질각력암질 집괴암, 응회암 등으로 구성된다. 용암류는 파호이호이 용암, 아아 용암, 베개용암, 클링커 등으로 발달하며, 유리쇄설암(hyaloclastite), 집괴암도 흔하다. 해안산책로 하부는 베개용암과 로브(lobe)용암, 수중에서 급랭수축·파쇄되어 형성된 유리쇄설암이 협재된 화산쇄설암층이 있으며, 상부에는 응회질각력암과 클링커층이 교호하여 나타난다. 그 외에 암맥, 해안폭포, 해식동굴, 기공, 행인, 베개

용암 등 다양한 화산암의 특징들이 저동 해안산책로를 따라 분포한다(Bae, 2011; Bae *et al.*, 2014).

현무암질 집괴암에는 베개용암의 파편이 흔히 포함되는데, 이는 기존의 베개용암이 파괴되어 유입된 것이다. 신장된 베개용암과 베개용암의 껍질부(rind) 또는 유리쇄설암은 베개용암이 생성될과 동시에 비폭발성 급랭 파쇄작용에 의해 생성된 것이다.

저동 해안산책로의 암맥들은 수직 내지 고각도로 발달하는데 현무암질 조면암이 흔하다. 이는 기존에 존재하던 현무암질 집괴암 절리대를 따라 마그마가 관입하면서 형성된 것으로 일종의 공급암맥(feeder dike)의 역할을 한 것으로 보인다. 저동지역의 해식 동굴은 도동지역과 마찬가지로의 양상을 보이는데, 수

직암맥을 중심으로 형성된 것이 특징이다. 즉 해식 동굴은 초기에는 암맥이 차별침식이 진행되었고, 점차 수직, 수평절리를 따라 암반의 붕락과 파식작용에 의한 횡적확장이 수반되면서 형성되었다.

저동해안에는 각력질 응회암 또는 현무암에서 발달하는 기공 내에는 종종 행인구조가 발달한다. 기공은 용암 속의 기체가 분리되어 빠져나가지 못한 상태에서 형성되는데, 저동의 현무암에 있는 기공들은 수 mm 크기의 작은 포도상이나 교질상(colloform)으로 발달하는데 이들은 비정질의 특징을 보인다. 응회질각력암에서는 타포니가 발달하는데, 타포니는 현무암질 집괴암의 각력이 이탈된 부분에서 시작되어 점차 확장된다.

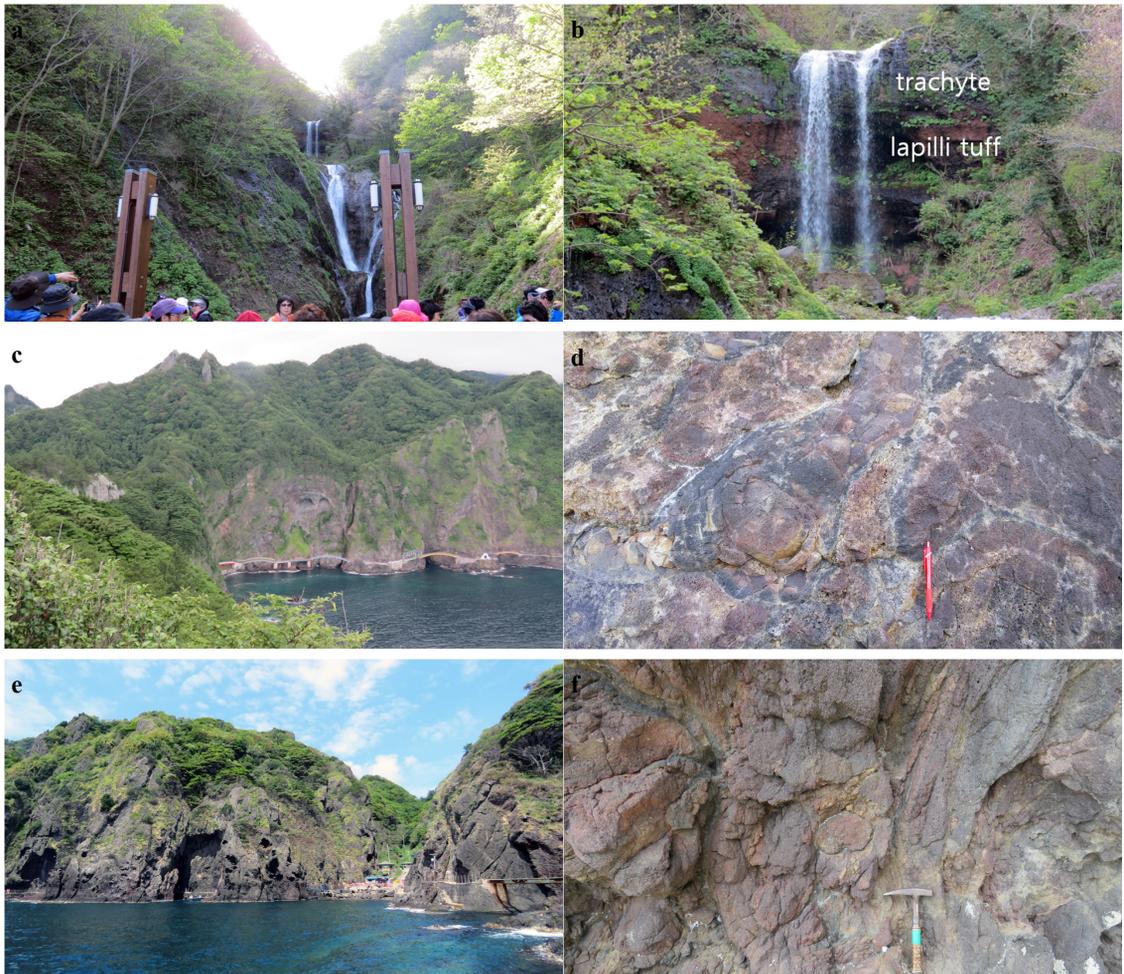


Fig. 4. Geosites in Ulleungdo. (a), (b) Bongrae waterfall, (c), (d) Jeodong seaside walkway, (e), (f) Dodong seaside walkway.

3.3 도동 해안산책로

도동 해안산책로에서는 울릉도 초기 화산활동의 특징을 보여주는 여러 암상 및 지질구조가 잘 관찰된다. 도동항에서 행남등대를 향해 하부에서 상부로 가면서 베개용암 및 자가각력암 등의 용암류, 재퇴적쇄설암, 적색 부석질 응회암층, 용결응회암(ignimbrite), 조면암 등과 같은 다양한 화산암들이 순서대로 분포한다(Bae, 2011; Bae *et al.*, 2014). 도동 해안산책로 서측 입구에서는 아아용암과 파호이호이 용암의 경계부가 관찰되며, 아아용암은 자가각력암 또는 클링커가 특징적이다. 각력이 빠져 나간 자리에서는 염풍화가 차별적으로 진행되면서 타포니가 발달한다(그림 4e, 4f).

베개용암은 주로 더미를 이루어 집단으로 산출되는데, 베개용암 사이사이에는 유리질의 검은 파편인 유리쇄설암으로 채워지거나, 기질부는 팔라고나이트(palagonite)화 되어 있다. 베개용암은 거북등껍질 구조를 흔히 보인다. 표면에는 수직 및 수평절리가 불규칙적으로 발달하며, 급랭한 증거인 검은 유리질의 피각을 가진다. 베개용암의 검은 유리질 껍질(glassy rind)은 대개 0.5~2 cm 폭으로 나타난다. 국부적으로는 직경 1 m 이상의 대형베개용암(megapillow)도 드물게 나타나는데, 이는 해양에서 현무암질 마그마가 분출했음을 지시한다(Goto and McPhie, 2004). 베개용암이 파괴된 형태인 베개각력암(pillow breccia)은 특히 베개용암의 전단부가 수중에서 파괴되거나, 해저사면에서 사태로 인해 베개용암이 파괴되어 형성된 것이다(Moore, 1975; Cas *et al.*, 2003). 자가각력암 내에는 염기성 암맥이 다수 발달하고 있으며, 이들 암맥과 모암인 자가각력암의 접촉부에는 검은 유리질의 냉각대인 타킬라이트(tachylite)가 존재하는데, 이는 암맥이 수중이나 함수상태의 차가운 기존암과 접촉하면서 급랭한 환경임을 지시한다(Bae *et al.*, 2012). 또한 현무암층 상부로 가면서 미세엽층리(lamina)를 보이는 유백색의 응회질 실트암이 기질로서 흔재하는데, 현무암질 각력의 짐하중(load)에 의하여 응회질 기질부가 교란되거나, 현무암 각력의 틈새를 채우거나, 연갈색으로 열변질되어 있어서 이들은 일종의 페페라이트(peperite)와 같은 동시성 혼성암(hybrid rock)구조의 특징을 보이기도 한다. 이같은 현상은 응회질 기질부가 미고결 상태 하에서 현무암이 수중 분출한 것으로 볼 수 있다.

도동산책로 중단부에서 재퇴적쇄설암층이 두껍게 발달하는데, 암편들은 조면암, 현무암, 포놀라이트, 응회암과 같은 다양한 종류의 암석으로 구성된다. 하부에서는 최대 2 m에 이르는 거력을 포함하며, 다양한 크기의 각력이 우세하여 역지지 역암층의 특징을 보인다. 역들의 분급과 층리의 발달은 불량하다. 그러나 재퇴적쇄설암층 상부로 가면서 암편들의 크기는 작아지고, 경사방향으로 비늘모양으로 암편이 배열하는 인편구조(imbrication)가 약하게 발달한다. 또한 완전히 고결되지 않은 상태에서 다시 뜯겨나와 재운반된 강도가 낮은 세립사암 또는 이암의 암편(sedimentary clast)이 이곳 역들과 같은 방향으로 배열되어 퇴적되어 있다 이들은 횡적으로 많이 신장되어 있어서 높은 중횡비를 보인다.

응회질 기질은 엽층리(lamina)나 상향세립의 점이층리를 흔히 보인다. 응회질 기질 속에 있는 암편의 불량한 분급과 원마도는 암설(debris)이 근원지에서부터 급격하게 유수에 의해 이동되어 왔음을 지시한다. 이러한 현상은 기존의 다양한 기원의 화산쇄설암으로부터 유래한 암편들이 사태가 발생하면서 화산체 사면을 따라 이동하여 재퇴적되어 생성된 것이다. 이같은 응회질 역암층의 특징은 칼데라의 붕괴나 화산체 상단부에서의 사태를 지시하는데, 상부로 가면서 점차 역들이 특정한 방향으로 배열되며 기질부도 층리를 보여주므로 이들 각력들은 수중으로 운반되어 퇴적된 것일 가능성이 높다.

이후, 화산체는 점차 수면위로 상승하여 도동산책로 상부층에는 산화작용을 심하게 받은 적색의 부석질 응회암이 분포하며, 일부는 적색 유리질로 팔라고나이트화되어 있다. 도동산책로의 최상부층에는 부석질 용결응회암(welded tuff)이 발달한다. 뜨거운 화산재층의 잠열과 짐하중에 의하여 암편이 렌즈상으로 압착된 것으로, 흑요암상의 검은 유리질이 렌즈상이나 파동형태로 신장되어 있다. 또한 이런 이그니브라이트에는 지층의 횡적변화가 잘 나타나며, 사층리와 미세한 층리가 잘 발달하는데, 이는 기저씨지(base surge)에 의한 특징에 해당한다. 또한 응회암에는 계단식의 키크습곡(kink fold)이 다수 발달하거나, 소규모의 퇴적동시성 정단층이 발달한다. 이는 사면에 기퇴적된 응회암이 여전히 미고결상태나 반고결의 뜨거운 상태 하에서, 후속 칼데라의 붕괴나 화산폭발에 의한 충격으로 인해 응회암의 층리

가 교란된 유성학적(rheology)특징으로 해석된다.

암맥이 분포하는 곳에는 해식동굴이 잘 발달하는데, 대부분의 해식동굴들은 암맥이 침식되고 수평, 수직절리를 따라 암괴가 탈락한 부분을 중심으로 점차 동굴이 확장되면서 형성되었다.

3.4 거북바위 및 향나무자생지

거북바위 및 향나무자생지는 서면 남양리에 위치한다. 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 거북바위는 층서상으로는 도동현무암질암류에 속한다. 거북바위의 현무암질암은 용암

의 흐름구조를 잘 보여주며, 현무암질 집괴암층에는 현무암질의 아아용암, 파호이호이용암, 베개용암으로 구성된다. 거북바위는 현무암질 집괴암층이 해안에서 파도에 의한 차별침식에 의해 형성된 시스택(sea stack)에 해당한다(그림 5a). 특히 아아용암과 파호이호이용암이 반복적으로 교호하며, 파호이호이용암층에서는 베개용암이 수반된다. 집괴암의 각력은 현무암질 용암이 냉각되면서 파괴되어 생성된 자가각력(autobreccia)이다. 용암층은 해안 쪽으로 20도 내외로 경사하며, 5 mm내외의 휘석반정이 용암층에 산점하여 나타난다.



Fig. 5. Geosites in Ulleungdo. (a), (b) Turtle rock & the natural habitat of Juniper growing wild, (c), (d) Noodle rock, (e), (f) Mushroom rock.

특이하게 거북바위에는 암맥이 특정한 방향으로 관입되어 있다. 포놀라이트질 암맥이 현무암질 집괴암의 가장자리와 중앙부에서 아수직(경사배향 270/87)으로 관입하였으며, 포놀라이트 암맥은 거북바위의 동편과 중심부를 관통하면서 거북바위를 지지하는 형태이다. 암맥과 현무암질 집괴암의 경계부에는 타킬라이트와 같은 검은 유리질의 냉각대(chilled margin)가 흔히 관찰된다. 이는 포놀라이트 암맥이 차가운 현무암질 집괴암을 관통하면서 급격하게 냉각되었음을 지시한다. 거북바위의 동편 암체는 암맥의 측면이 노출되어 있어서 수직에 가깝고 비교적 매끈한 반면에, 서편암체는 집괴암과 용암이 혼재하여 표면이 거칠고 암체의 폭도 훨씬 두껍다.

거북바위의 꼭대기에는 각력암으로 이루어진 암괴가 차별침식을 받아 거북이 형상을 나타내며, 그 주변부에는 몇 그루의 향나무가 서식한다.

울릉도는 예로부터 향나무가 풍부하여 향나무 목재 가공품을 많이 생산한 적이 있는데, 한 때 세계적인 향나무자생지였으나 현재는 대부분 훼손되어 일부 근각만 잔류한다. 거북바위 서측의 통구미 암벽상단부에는 천연기념물인 향나무의 자생지가 분포한다(그림 5b). 이곳 향나무 자생지의 지질은 거북바위와 마찬가지로 현무암질집괴암이나, 풍화침식을 많이 받아 타포니가 발달한 급사면이 형성되어 있어서 토층이 얇고, 해풍의 영향을 많이 받는다. 향나무의 높이는 울릉도 타 지역에 비하여 작으며, 수령 500년 이상 된 향나무는 20여 그루에 불과하다.

3.5 국수바위

울릉군 서면 남서리 비파산에 위치하고 있는 국수바위는 약 175만 년 전 울릉층군 천부조면암의 용암의 분출로 만들어진 거대한 암벽으로서 높이는 약 30 m, 길이는 남북방향으로 약 300 m에 달한다. 국수바위의 벽면에는 수직에 가까운 수많은 주상절리가 국수바위의 동서편에 잘 발달하고 있다(그림 5c). 국수바위는 조면암으로 이루어져 있는데, 용암이 지표로 분출하여 계곡을 따라 흐르면서 급격한 냉각으로 인해 형성되었다. 지금은 하부 열주(colonnade)와 엔테블러췌(entablature)만이 남아있고, 상부 열주는 침식으로 제거되어 더 이상 관찰되지 않는다. 동편의 주상절리는 서편의 주상절리에 비해 간격이 좁은데, 이는 동편이 서편보다 빠르게 냉각되었음을

지시한다. 국수바위 주상절리에서는 주상절리의 수평방향으로 냉각절리의 일종인 끌(chisel)구조가 잘 발달한다(그림 5d).

3.6 버섯바위

버섯바위는 서면 남서리에 위치한다. 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 이는 울릉도의 중간층에 위치하는 성인봉층군의 조면암질암류 중에서 하부층에 놓이는 사태감응회암에 속한다. 겹겹이 쌓인 지층과 표면이 버섯을 닮아서 버섯바위라 하며, 버섯바위는 부석질 응회암 내지 라필리 응회암으로 이루어져 있다. 버섯바위에는 부석 우세층과 유리쇄설암(hyaloclastite, 하이알로클라스타이트) 우세층이 교호하는데, 특히 부석질이 풍부한 응회암층이 차별침식을 심하게 받았다(그림 5e, 5f). 부석질 응회암층에는 입도차이로 인한 점이층리가 부분적으로 발달하기도 한다. 버섯바위를 이루고 있는 암상(응회암)과 그 주변에 분포하는 암상(집괴암)이 뚜렷이 구별되는데, 이는 사면 위쪽에 있던 응회암층이 붕괴되어 거대한 몇 개의 암반이 낙반하였으므로 분포하고 있다. 한편 버섯바위 인근 해변에는 몽돌해안이 발달하는데, 해안선을 따라 길이는 약 700 m에 이른다. 몽돌은 직경 10~50 cm 크기가 흔한데, 원마도가 매우 좋고 분급도 양호하다. 역은 주로 조면암으로 구성되며, 현무암과 포놀라이트도 소량 발견된다.

3.7 학포 해안

학포 해안은 울릉군 서면 태하리에 위치하고 있으며, 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 화산각력암, 용암, 응회암류의 집괴암이 특징인 울릉층군 하부층의 도동 현무암질각력암, 사동각력암과 울릉층군 하부 조면암유인 태하조면암으로 이루어져 있다.

학포 해안은 암질에 따른 차별침식의 영향으로 형성된 해안지형의 특징을 잘 보여 준다. 현무암질 집괴암과 응회암 위로 침식에 강한 조면암이 분포하는데, 집괴암은 조면암에 비하여 파식작용에 상대적으로 매우 취약하다. 결과적으로 조면암 분포지역은 곶(headland), 집괴암 분포지역은 만(bay)이 발달한다. 수심이 깊고 파도가 강한 학포 해안에는 원마도가

높고, 분급이 양호한 몽돌의 왕자갈(boulder)이 우세하며, 소량의 조약돌(shingle)은 바깥쪽 해안에 퇴적되어 있다(그림 6a). 학포 해안에 발달된 조면암질 절벽에는 수직절리가 발달하여 급사면을 이루고 있다.

학포 해안 일대에는 각석문, 산신당, 가재굴, 석양 등 볼거리가 풍부하며, 울릉도 바다의 전형적인 색깔인 짙은 에머랄드 그린(emerald deep green)을 쉽게 감상할 수 있다. 특히 학포는 울릉도 개척역사를 기록한 유적이 있는 곳으로도 유명하다. 조선에서 450년간 쇄환정책(조선 전기 울릉도 거주민을 조선본토로 이주시킨 정책)을 개척정책으로 바꾸기 위하여 고종이 파견한 이규원 검찰사가 배 3척에 102명의 수행원을 이끌고 1882년 4월 30일 학포에 처음으로 도

착하였으며, 이후부터 울릉도로의 본격적인 이주가 다시 시행되었다.

3.8 황토굴

황토굴은 서면 태하리 해안에 위치하며, 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 울릉층군 하부 조면암질암류인 태하조면암에 발달하는 일종의 해식동굴이다. 동굴 내부에는 소위 황토(red soil)가 산출되는 것으로 알려져 있으나, 실제로는 토양이라기보다는 표면이 약간 풍화된 적갈색 응회암에 해당된다(그림 6b). 일부 잔존하는 적갈색 응회암이 마치 동굴 속에 황토가 들어 있는 것처럼 보여 황토굴로 명명되었으며, 과거 울릉도로

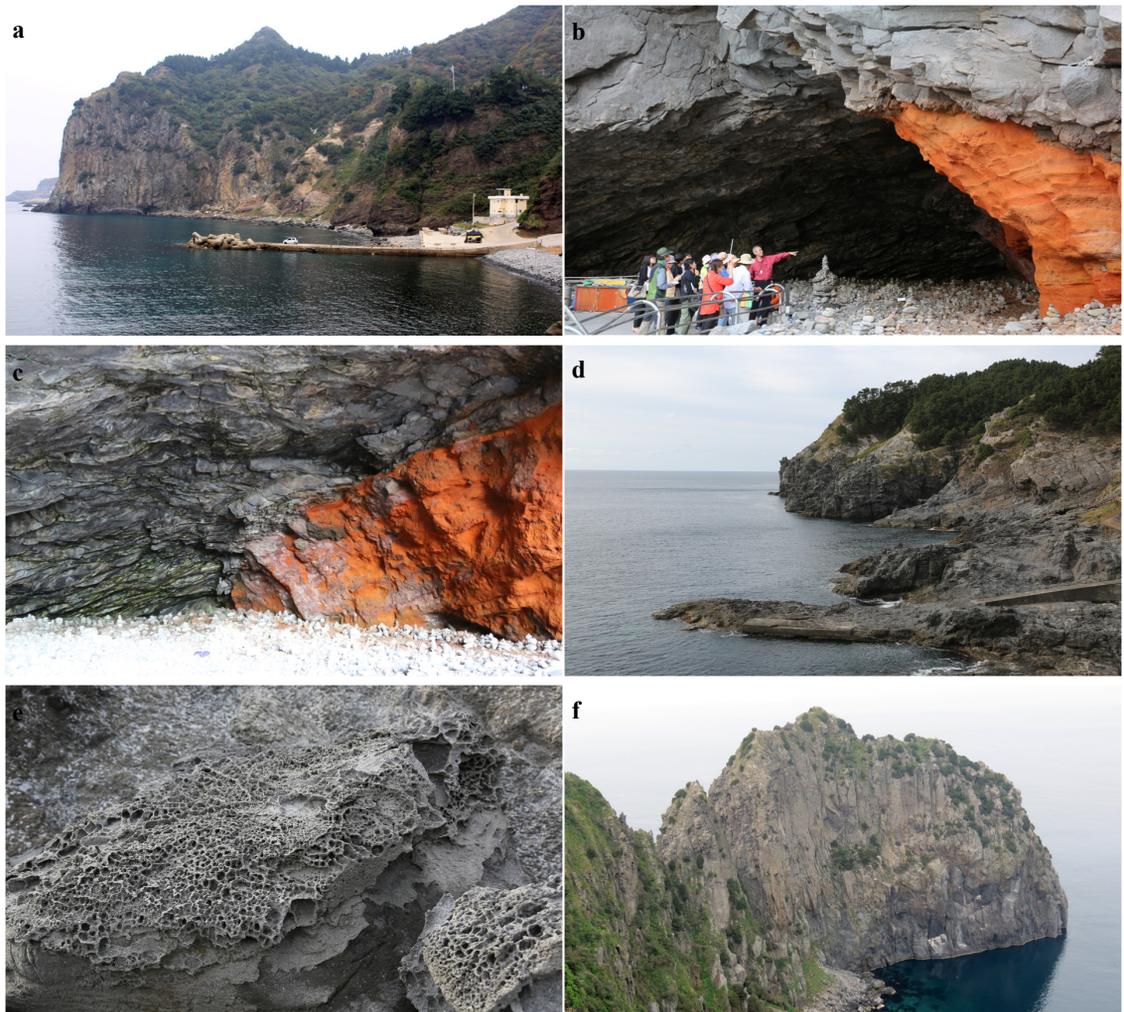


Fig. 6. Geosites in Ulleungdo. (a) Hakpo beach (b), (c) Red soil cave (d), (e), (f) Taeha seaside walkway and Daepunggam.

파견된 관리들은 이곳 황토를 일종의 근무성과물로 조정에 공납하였다고 전해진다.

황토굴 내부의 천정과 벽면은 조면암으로 구성되며, 조면암의 하부에는 수평층에 가까운 현무암질 응회암이 분포하는데, 응회암이 파식작용으로 차별 침식을 받아 제거되면서 해식동굴이 형성되었다. 동굴의 규모는 입구에서 높이 6 m, 폭 32 m이나, 내부로 가면서 점점 좁아진다. 동굴의 최대길이는 44 m이다. 바닥은 원마도가 높은 자갈로 채워져 있어서 평탄하고, 천정은 비대칭 마름모꼴의 형태로 양쪽으로 약간 각이 졌으나, 내부로 들어가면서 점차 반구형에 가깝다. 황토굴의 내부로 가면서 응회암층의 두께는 얇아지며, 응회암과 조면암 간 접촉부가 뚜렷하게 나타나며(그림 6c), 조면암과의 접촉부에 가까워 질수록 응회암에는 현무암질, 조면암질 각력이 다수 포함된다. 황토굴에는 응회암층의 서쪽지반이 하강한 소규모의 정단층이 여러 개 발달한다.

응회암은 주로 규질의 화산유리질 샤드(shard)와 알칼리 장석류의 미세결정(microlite)으로 구성되나, 미세한 함철광물이 일부 포함되어 있다. 황토의 가장 특징적인 발색소는 철인데, 현무암질 응회암에 포함되어 있는 티탄철석, 자철석, 함철 규산염 광물 등이 열변질 작용을 겪으면서 미세한 철산화물 입자가 생성되었고, 이들이 응회암에 산포되어 있어 육안상 짙은 적색을 띠게 된다. 철산화물은 수 μm 크기이고, 대부분 비정질이다.

황토를 구성하는 응회암의 표면이나 수 cm 내부에는 흔히 염분으로 침착되어 있거나, 염분결정이 형성되어 있는데 이는 철의 산화를 촉진시킨다. 비교적 단단한 응회암층에는 미세엽층리(lamina), 각력, 교호층리, 정단층 등과 같은 지질구조가 잘 보존되어 있는데, 이는 풍화작용에 의해 생성된 일반적인 토양층과는 차별된다. 황토굴 천장부, 즉 조면암의 바닥에는 냉각수축 구조가 발달하는데, 이는 조면암이 응회암과 접촉하면서 급랭하였으며, 반대로 응회암은 열의 영향을 받았음을 지시한다. 황토굴 외에도 이같은 적색층은 울릉도 곳곳에 분포하는데, 조면암 아래에 놓인 현무암질 응회암에서 흔히 발달한다. 특히 태하리 일대의 조면암과 응회암과의 경계부, 삼선암 부근 해안을 따라 분포하는 조면암과 응회암의 경계부에서도 황토굴과 흡사한 양상의 적색층이 발달한다. 이는 조면암과 밀접하게 관련되어

있어서, 단순히 고토양(paleosol)이라기보다는 용암의 영향에 의한 열적산화작용(thermal oxidation)에 의해 형성된 것으로 보인다.

3.9 태하 해안산책로 및 대풍감

태하 해안산책로 및 대풍감은 서면 태하리에 위치하며, 해안절벽을 따라 태하등대까지 이어진다. 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 해안산책로 일대는 주로 조면암이며, 일부는 현무암질 집괴암으로 이루어져 있다. 조면암에는 현무암이나 섬장암 암편이 포획암(xenolith)으로 존재한다. 해안파도와 바람에 의해 특이하게 침식된 지형이 발달하는데, 절리를 따라 침식작용이 집중되어 해식동굴과 꽃을 발달시켜서 수려한 해안절경을 자랑한다(그림 6d). 조면암은 별집모양의 특징적인 타포니를 발달시킨다(그림 6e). 대풍감의 조면암 절벽에는 연장성이 좋은 수직절리가 잘 발달한다(그림 6f). 대풍감에서 자생하는 향나무는 육지와 격리된 특수한 환경 속에서 오랜 세월동안 고유한 생태환경을 이루고 있는데, 생태적 가치가 높아 천연기념물 제49호로 지정되었다.

3.10 노인봉

노인봉은 북면 현포리에 위치하는데, 마그마의 통로인 화도가 굳어서 형성된 높이 200 m의 암벽이다. 암벽에 발달한 수많은 수평절리들이 노인봉의 주름살처럼 보인다고 하여 노인봉이라 명명되었다. 노인봉에는 수평에 가까운 여러 세트의 주상절리들이 잘 발달한다(그림 7a, 7b). 노인봉을 구성하는 주암석은 조면암이나, 국부적으로는 포놀라이트질이 점이적으로 분포하여, 전반적으로 노인봉 암석의 강도는 매우 높다. 이는 화도를 따라 마그마가 상승하다가 급랭하여 형성된 것으로 보인다. 그 후 차별침식 작용을 받아 상부는 소멸되고 화도에서 마그마가 냉각된 부분이 잔존하여 현재의 형태를 보여준다. 노인봉은 일종의 상승플러그(upheaval plug)에 해당한다. 이는 점성이 높은 마그마가 수직 내지 고각의 화도벽을 따라 상승할 때 잘 형성된다.

3.11 송곳봉

송곳봉은 해발 452 m의 큰 암벽인데, 울릉도 북부지역인 북면 현포리에 위치하며, 뾰족한 봉우리가

마치 송곳을 세워 놓은 형태라서 송곳봉으로 명명되었다. 송곳봉은 1.5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)에 의하면 성인봉층군의 송곳봉 포놀라이트층에 속한다. 현장에서의 실제적인 암질은 포놀라이트와 조면암이 혼재하는 양상을 보인다. 송곳봉에는 수직절리, 풍화혈, 수평절리, 불규칙 절리와 같은 독특한 지질구조가 발달한다(그림 7c, 7d).

송곳봉의 생성연대는 최대 17만년전 이내로 볼 수 있다. 이에 관한 실제적인 연대측정 결과는 존재하지 않으나, 주변의 선후 암상과의 비교를 통하여 송곳봉의 생성연대를 유추할 수 있다. 즉 송곳봉 바로 인근 동편에는 화산성 퇴적층인 추산층이 송곳봉

의 하위층으로 놓인다. 울릉도 북부지역에서는 추산층 이전의 암석으로서 나리봉조면암이 부정합적으로 놓이는데, Ar-Ar 연대측정 결과에 의하면 18~17만년 이전으로 나타났다(Hwang *et al.*, 2012). 결과적으로, 나리봉조면암 형성 이후 부정합적 사건을 겪은 다음에 추산층이 퇴적되었으며, 그 후에 송곳봉이 형성되었다. 그러므로 송곳봉의 생성연대는 17만년 전보다 훨씬 이내임이 명확하다.

송곳봉의 하부구간의 급사면에는 애추 에이프런(talus apron)이 사방으로 발달하며, 정상부는 점점 좁아지는데, 그 형태는 마치 뾰족한 원뿔과 유사하다. 이는 전형적인 펠레 돔(Peléean dome)에 해당

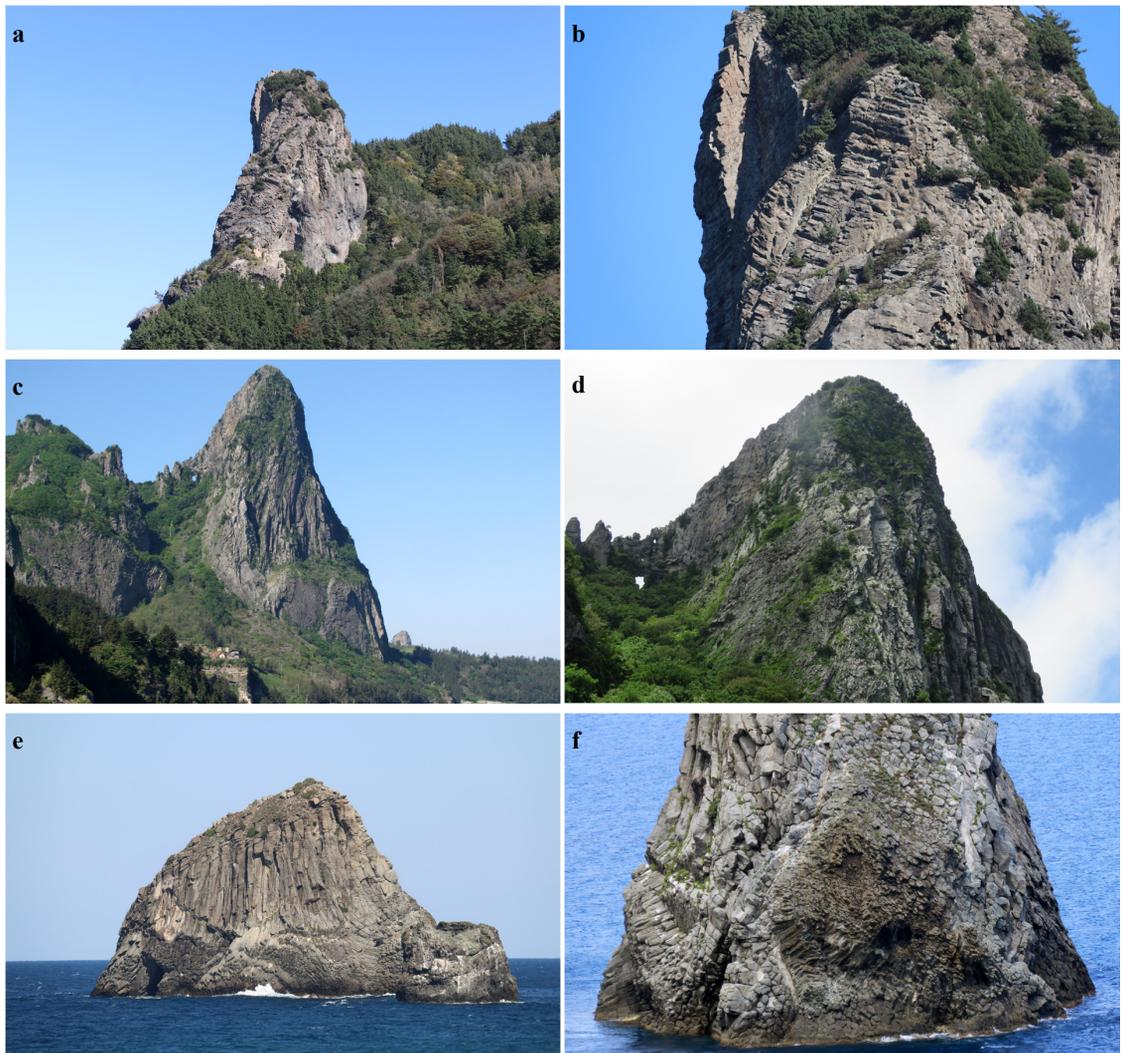


Fig. 7. Geosites in Ulleungdo. (a), (b) Old man peak, (c), (d) Needle peak, (e), (f) Elephant rock.

된다(Blake, 1990). 점성이 높은 용암이 주 화도를 벗어나는 단계에 이르면, 하부에 포집되어 있던 마그마내 기체성분이 계속 상승하면서 용암에 압력을 가하여 펠레형 용암돔이 형성된다. 송곳봉에는 연장성이 크고 절리간격이 넓은 수직절리가 잘 발달하는데, 이는 화도를 통하여 상승하는 용암이 화도벽과 접촉하면서 급랭한 경우에 형성되는 수평절리나, 상승플러그에 의한 냉각특징과 차별된다. 송곳봉 하단부에는 절리의 간격과 연장선이 크나, 상부로 가면서 작아지는 경향을 보인다.

송곳봉 중상단부의 동편에는 차별적인 풍화침식에 의해 생긴 8개의 풍화혈이 발달하는데, 죄를 짓지 않고 살아가는 사람을 옥황상제가 낚아 하늘로 올리기 위해 뚫어 놓은 구멍이라는 전설이 있다. 조면암에 발달한 절리를 따라 침식이 진행되면서 암피가 떨어져 나가고, 풍화를 받아 얇아진 부분에서 타포니처럼 풍화혈이 형성되었다. 이러한 풍화침식 작용은 송곳봉 동편에 있는 현무암질 집괴암과의 접촉부나, 이와 가까운 곳의 조면암에서 현저하게 나타난다.

3.12 코끼리바위

코끼리바위는 북면 현포리 해상에 위치하는데, 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 성인봉층군 미륵산 조면암에 속한다. 규모는 높이가 약 50 m, 길이 약 80 m이다. 여러 방향으로 주상절리가 발달하는데, 코 부근에는 높이가 약 10 m의 아치형 해식동굴이 있다. 바위의 모습이 마치 물속에 코를 담고 있는 코끼리와 유사하여 코끼리바위라 명명하였으며, 바위에 구멍이 있다고 해서 예로부터 이를 ‘공암’이라고 부르기도 한다.

코끼리바위는 원래 울릉도 본도와 연결되어 있었으나, 파도에 의해 분리되고 해식동굴이 발달하여 시스템과 시아치의 특징을 함께 가지고 있다. 코끼리바위의 주상절리들은 여러 방향으로 뻗어 있을 뿐만 아니라, 절리의 간격이나 크기도 다양하다(그림 7e, 7f). 특히 주상절리는 규모가 다른 여러 종류의 절리세트로 나타나는데, 절리간격, 길이, 방향, 밀집도 등에서 큰 차이를 보인다. 이같이 다양한 주상절리 패턴은 냉각당시 서로 다른 성질의 용암흐름이 있었거나, 차가운 면과 접촉하였던 지형의 기복이 심하였음을 지시한다. 특히 호처럼 휘어진 주상절리 군도 흔한데, 이는 냉각도중에도 경사방향으로 흐름

이 지속되었기 때문인데, 유성학(rheology)적으로도 중요한 의미를 가진다.

3.13 용출소

용출소는 북면 나리분지 인근 칼데라 외곽부에서 협곡부근 해발 300 m 고도에 위치한다. 지하수면이 급사면, 단층 등에 의하여 지하수면이 절단되어 지표와 만나면서 지하수가 자분하는 일종의 샘(spring)에 해당한다(그림 8a). 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)에 의하면 용출소 인근의 지질은 울릉층군 하부조면암류인 천부조면암과, 나리층군인 말잔등응회암과 나리분석층, 그리고 알봉조면안산암 등으로 구성된다. 용출소는 지표상에서는 응회암층에서 위치하고 있으나, 단면이나 측면에서는 이같이 다양한 지질이 경계를 이루고 있어서 암질차이에 의한 투수성의 불균형으로 인해서 지하수가 자분하는 것으로 보인다. 용출소 인근 부석질 응회암과 라필리 응회암에는 습곡의 약한 배사구조가 발달한다.

화산체 정상부가 함몰되어 나리칼데라 호수가 형성된 이후, 공극률과 투수률이 높은 부석들이 호수 내로 유입되어 퇴적되었으며, 이들은 지하수 함양(recharge)에 유리한 대수층의 역할을 한 것으로 보인다. 나리분지 일대에서 함양된 지하수는 나리칼데라 북편의 외륵산의 봉괴합몰에 따른 파쇄대와, 북북서편에 발달한 남북~북북동 단층대를 따라서 이동하였으며, 부석질응회암, 라필리응회암, 조면암이 접촉하는 칼데라 외곽부에서 용출하는 것으로 보인다.

용출소의 유량은 20,000 톤/일에 이르며 수온은 연중 일정한 편으로, 평균 10.2°C 인 저온성 지하수에 속한다. 수소이온농도(pH)는 8.1~8.3으로 약알칼리성이며, 용존산소(DO)는 7.2~9.4 mg/L, 주요 성분비에 따른 수질유형은 알칼리-중탄산형(Na, K-HCO₃)이다.

3.14 알봉

알봉은 북면 나리분지 북서쪽에 위치하며, 해발 538 m의 용암돔이다(그림 8b). 이는 울릉도 화산활동 중 최후기에 형성되었다. 알봉을 이루는 조면안산암질암류의 K-Ar 연대측정 결과는 0.005 Ma 연대를 나타낸다(Kim *et al.*, 1999; Hwang and Jo, 2016). 현재에는 알봉정상 분화구까지 트레일이 조성되어 있다. 알봉의 정상부의 분화구는 신장된 형태의 얇은

함몰지에 불과한데다가 수목이 심히 우거지고, 풍화 침식 작용을 받아서, 실질적인 분화구의 형태를 관찰하기 어렵다. ‘알봉’이라는 용어는 20세기 초 울릉도에 온 호남인들이 배를 건조하기 위한 목재를 구하려고 산에 올랐다가 이를 발견하였는데, 그 형태가 마치 알과 흡사하여 알봉이라고 불렀던 것에서 유래한다.

3.15 성인봉 원시림

울릉도 원시림은 성인봉을 중심으로 분포하며, 북면 나리분지 일대에도 넓게 분포한다. 나리분지는 해발 약 360 m에 위치하며, 동·서 방향으로 약 1.5 km, 남·북 방향으로 직경 약 2 km에 이르는 울릉도의 유

일한 평지이다. 나리분지는 조면암질 외륜산들로 둘러싸여 있는데, 나리령(798.0 m), 말잔등(967.8 m), 천두봉(978 m), 미륵봉(900.8 m), 송곳산(605 m) 등의 외륜산이 둘러싸고 있다. 이들 외륜산 중 가장 높은 봉우리가 성인봉(986.7 m)인 셈이다.

약 10,000년 전, 울릉도 마지막 화산폭발에 의해 부석을 포함한 테프라(tephra)가 울릉도 전 지역을 덮었으며, 외륜산록부와 나리분지 인근으로부터 많은 양의 화산쇄설물들이 나리칼데라 호수로 운반되어 퇴적되었다. 나리칼데라에는 울릉도 최후기 화산폭발로 형성된 나리테프라층은 매우 두꺼운 부석층으로 구성되는데(그림 8c, 8d), 조면암류, 섬장암, 포



Fig. 8. Geosites in Ulleungdo. (a) Yongchulso Spring, (b) Nari basin, (c), (d) Nari caldera tephra, (e) Albong peak, (f) Seonginbong primeval forest.

놀라이트질 암편이 일부 협재된다. 부석질의 화산쇄설물은 쉽게 풍화되면서 비옥하고 두터운 토양층을 형성하였으며, 나리분지 일대에는 울릉도에서 가장 넓은 경작지가 발달한다(그림 8e). 현재에도 원시림 일대 산책로에서는 부석층을 쉽게 발견할 수 있다. 부석은 성인봉을 포함하여 외륜산과 나리분지 일대에 발달한 원시림의 조성에 중요한 역할을 한 것으로 보인다(그림 8f). 특히 성인봉 원시림에는 육지와 오랫동안 격리된 탓에 울릉도 고유의 희귀식물들이 많이 서식하고 있어서 생태적으로도 가치가 높아, 천연기념물 제189호로 지정되었다.

3.16 죽암 몽돌해안

죽암 몽돌해안은 북면 천부리에 위치하며, 길이는 500 m, 폭은 20 m이다. 해안 인근의 암질은 1.5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 울릉도 하위층인 울릉층군 사동각력암층과 석포조면암으로 구성된다. 각력암층은 주로 조면암질 집괴암과 응회암으로 구성되며 죽암해안과 죽암마을 남측 내륙 쪽에 분포하며, 조면암은 죽암리 북동측을 중심으로 넓게 분포한다. 조면암에는 포놀라이트가 조면암과 경계부를 이루거나 점이적인 관계를 가지면서 국부적으로 분포한다.

해안지형이 지속적인 파도의 침식을 받으면 강한 부분은 돌출되어 곳이나 시스택이 되고, 약한 부분은 해안 내륙으로 움푹 들어간 만입부와 해빈이 쉽게 형성된다. 죽암몽돌 해안은 화산쇄설층이 우세하기 때문에 파식에 취약하여 수백 m의 만이 발달한다. 해안은 몽돌의 원마도가 매우 높으며 분급도 양호하다(그림 9a, 9b). 몽돌의 암질은 조면암, 포놀라이트, 현무암 등으로 다양하게 구성되나 조면암과 포놀라이트가 우세하다. 몽돌의 크기는 직경 20~30 cm가 흔하며, 호박돌이나 조약돌 크기의 역도 일부 분포한다. 이같은 몽돌이 퇴적되는 해안은 파도의 운반에너지가 높음을 지시한다.

3.17 삼선암

울릉도의 3대 해양절경 중 하나로 손꼽히는 삼선암은 북면 천부리에 위치하며, 세 개의 시스택, 즉 일선암, 이선암, 삼선암으로 구성된다(그림 9c). 지질도폭상 성인봉층군 상부 조면암질암류인 관모봉조면암에 속한다(Hwang *et al.*, 2012). 삼선암에서는

수직절리와 타포니가 잘 발달한다. 삼선암은 본섬의 일부였으나 수직절리를 따라 상대적으로 약한 부위가 파도에 의한 차별침식을 받았으며, 침식에 강한 부분만 남아 시스택이 된 것으로 해석된다. 울릉도의 풍경에 반하여 하늘로 돌아갈 시간을 놓친 세 명의 선녀가 옥황상제의 노여움으로 세 개의 삼선암 바위가 되었다는 전설이 있다.

3.18 관음도

관음도는 북면 천부리에 위치하며, 높이 106 m, 둘레 약 800 m이다. 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 성인봉층군 하부 조면암질암류인 모시개조면암에 속한다. 관음도는 독도와 죽도에 이어 세 번째로 큰 부속섬으로 사람이 살지 않는 무인도이며, 소위 깎새섬이라고 부른다. 후박나무, 동백나무, 억새의 군락지이다. 조면암에는 현무암 암편이 외래암석, 즉 포획암(xenolith)으로서 산출된다. 관음도의 지표면은 부석으로 덮여있으며, 하부는 수직절리가 잘 발달한 조면암으로 구성되어 있다(그림 9d). 조면암 해안절벽은 수직절리와 수평절리가 다수 발달하고 있어 절리를 따라 해식활동이 활발하다. 관음도의 동편절벽에는 높이 약 14 m인 두 개의 해식동굴이 발달하는데, 이를 관음쌍굴이라 한다. 관음도에서는 죽도, 삼선암 및 안양북기념관을 조망할 수 있다.

3.19 죽도

죽도는 저동리 해상에 위치한다. 정상부의 해발고도는 116 m이며, 섬 둘레를 따라 약 4 km의 산책로가 조성되어 있다. 울릉도의 부속섬 44개(유인도 4, 무인도 40)중 가장 큰 섬으로 대나무가 많이 자생한다고 하여 죽도라고 불린다. 섬의 가장자리는 거대한 암벽으로 둘러 싸이며, 섬의 정상부는 평지가 가깝다(그림 9e, 9f). 1:5만 지질도폭(Hwang *et al.*, 2012)상의 암질구분에 따르면, 죽도는 성인봉층 상부인 죽도 포놀라이트층에 속한다. 그러나 실제로는 조면암도 다수 분포한다. 조면암 내에는 조면안산암질 또는 조면암질 포획암이 다수 발견된다. 죽도의 암벽에는 연장성이 좋은 수직절리가 발달하며, 죽도와 가까운 울릉도 본섬 동쪽해안에 분포하는 현무암질 집괴암층과는 암상이 전혀 다르다. 따라서 죽도는 독자적인 용암돔으로 판단된다. 죽도의 상부에는

부석층이 수 매 발달한다. 특히 지표면의 대부분은 유백색 내지 백색의 부석층으로 덮여 있는데, 이들은 풍화에 약하므로 쉽게 토양층을 형성한다. 부석질 농토에는 죽도의 특산물인 더덕이 재배되고 있다.

3.20 숫돌바위

울릉읍 독도리에 위치하며, 445 m²의 면적을 가진다. 독도 동도 선착장 인근에 위치한 숫돌바위는 독도 의용수비대원들이 동도에서 생활할 당시 칼을 갈았던 곳으로, 암질이 숫돌과 비슷하다고 하여 불

여진 이름이다. 숫돌바위는 해발고도 12.6 m이고, 북서-남동 방향으로 응회각력암의 틈을 따라 관입하여 형성된 조면암질 암맥인데, 일종의 시스택을 이룬다(그림 10a). 수평 내지 이수평에 가까운 주상절리가 형성되어 독특한 경관을 보여준다. 이 암석 내에는 장식반정들 여러 개가 뭉쳐서 집합체를 이루거나 방사상으로 배열되어 나타나는 것이 특징이다. 숫돌바위와 같은 동일한 암맥이 서도의 동측단애에 서도 관찰되는데, 이들의 발달양상과 관입방향으로 보아 서로 연결되어 있는 암맥인 것으로 판단된다.



Fig. 9. Geosites in Ulleungdo. (a), (b) Jukam shingle beach, (c) Samseonam seastack, (d) Gwaneumdo islet, (e), (f) Jukdo islet.

3.21 독립문바위

독도의 독립문바위는 동도의 동쪽 맨 끝에 위치한다. 시아치(sea arch)와 해식동굴(sea cave)의 모양이 독립문의 형상과 닮은 것이 가장 특징이다(그림 10b). 지질은 동도응회암에 속하며, 괴상의 각력암 및 응회각력암으로 구성된다. 각력암에는 수평층리가 발달하며, 수평, 수직절리가 발달해 있다. 외해로부터 오는 강한 파랑의 영향을 받아 동쪽으로 돌출된 곳에는 높이 약 30~40 m의 경사가 급한 수직의 해식애가 발달해 있다. 해식에 전면에는 수직절리를 따라 암석의 약한 부분이 파랑과 염풍화작용에 의해 제거되어 확대되면서 기저부에는 절리를 따라 해식동굴이 형성되었다. 폭이 좁은 곳의 끝 부분에는 해식동굴이 더욱 발달하여 양쪽의 해식동굴이 서로 만나 자연교의 형태로 발달한 시아치인 독립문바위가 형성되었다.

3.22 삼형제굴바위

독도의 삼형제굴바위는 높이 44 m의 시스택으로, 동도와 서도간 해상에 위치한다(그림 10c). 이는 독도 최하위층인 조면안산암에 속하나, 최상부에는 응

회각력암이 분포하므로 실제로는 두 개의 지질로 구성된다. 조면안산암 하부에는 수직 내지 고각의 절리가 다수 발달한다. 삼형제굴바위는 그 형태가 마치 두 동생들이 형을 따르는 모습과 같다고 하여 붙여진 이름으로, 해식동굴이 발달하여 이를 공암바위라고도 부른다. 세 방향으로 해식동굴이 형성되어 있다.

3.23 천장굴

천장굴은 독도의 동도 중앙에 위치한다. 깊이가 약 100 m인 사각형의 함몰지가 있으며, 바닥에서는 해수가 왕래하는 동굴 두 개가 있다(그림 10d). 지질도상으로는 동도응회암에 속하는데 이는 주로 괴상 각력암 및 응회각력암으로 구성된다. 천장굴 벽면에는 소규모의 정단층과 수평층이 발달한다. 천장굴은 동도 내에 다양한 방향으로 발달한 수많은 단층들이 교차하는 지점이 침식작용을 받아 형성된 함몰와지로 보이나, 그 성인에 관하여서는 현재까지 명확하게 밝혀진 바 없다. 천장굴 바닥에는 북동쪽으로는 바다와 연결된 시아치가 있으며, 이곳을 통하여 해수가 천장굴로 유입될 뿐만 아니라 파도에 의한 침



Fig. 10. Geosites in Dokdo. (a) Whetstone rock, (b) Independence gate rock, (c) Three brothers cave rock, (d) Ceiling cave.

식작용과 운반작용이 끊임없이 일어난다. 따라서 천장굴 바닥에는 원마도와 분급도가 높은 해빈자갈이 퇴적되어 있다. 천장굴 바닥의 북동부에서 시아치를 통하여 파식작용이 계속 일어날 경우, 향후 천장굴은 점차 침식되어, 붕괴될 가능성이 있다. 천장굴의 내부는 사방으로 암벽이 둘러싸고 있고, 위로는 완전히 개방되어 있는 독특한 지형적 특성으로 인하여 생태계의 보존이 양호하다. 흑비둘기 서식지가 있으며, 독도 사철나무는 천연기념물 538호로 지정되었다.

4. 지질공원 관리현황

4.1 지질보전

울릉도·독도 국가지질공원의 일부 지질명소는 법적으로 보호 받고 있는데, 국가지정문화재와 울릉군 조례에 의해 보호 받고 있는 지역으로 분류할 수 있다. 우선 국가지정문화재를 살펴보면, 총 23개소 중 7개소가 천연기념물로 지정되어 있는데, 독도 4개소(숫돌바위, 독립문바위, 삼형제굴바위, 천장굴), 거북바위 및 향나무자생지, 태하 해안산책로 및 대풍감, 성인봉원시림이 이에 해당한다. 독도 천연보호구역은 천연기념물336호, 천장굴에서 자라는 독도 사철나무는 천연기념물538호, 통구미 향나무자생지는 천연기념물48호, 대풍감 향나무자생지는 천연기념물49호, 성인봉원시림은 천연기념물189호로 지정되었다.

그 외에도 울릉도·독도 국가지질공원에는 지질명소와 직접적인 관계는 없으나 4종의 천연기념물, 2종의 중요 민속문화재, 2종의 경상북도 기념물, 2종의 경상북도 민속문화재, 6종의 경상북도 문화재자료, 1종의 경상북도 등록문화재, 울릉도 고시에 의한 2종의 야생동식물 보호구역이 존재한다. 울릉군 조례에 의해서 보호받고 있는 지질명소는 독도 천연보호구역 관리조례(2013년 10월 개정)에 의해 독도 4개소(숫돌바위, 독립문바위, 삼형제굴바위, 천장굴), 관광지관리조례(1992년 10월 제정, 2013년 10월 개정)에 의해 2개소(죽도, 봉래폭포), 섬목·관음도 탐방로 및 보행 연도교 시설 운영 조례(2012년 8월 제정)에 의해 1개소(관음도), 삭도·궤도시설 관리 및 운영 조례(2008년 7월 제정, 2012년 6월 개정)에 의해 1개소(태하 해안산책로 및 대풍감)의 지질명소가 보호 받고 있다.

4.2 관리구조

울릉군은 2011년 3월부터 울릉군 행정기구 설치조례 시행규칙 제8조에 따라 환경산림과 업무소관에 지질공원 업무를 부여하여 '환경관리담당'에 지질공원 추진팀을 구성하였다. 2012년 8월, 지질전문가를 1명 채용하였고, 2013년 11월, '환경관리담당'을 '환경지질담당'으로 명칭을 개편하여 업무중점도를 높였다. 2016년 현재 환경산림과에 울릉도·독도 국가지질공원 유지관리를 위한 전담조직을 과장과 담당지질전문가로 구성·운영 중이다.

2013년 8월, 울릉도·독도 관리 및 운영에 관한 조례를 제정하였고, 같은 해 9월, 그에 따라 지질공원의 체계적인 운영 및 관리 등에 관한 사항을 자문·심의·조정하기 위하여 군 의회에서 추천하는 의원, 지질공원 분야에 학식과 지식이 있는 사람, 각급 기관단체 및 지역주민, 언론·관광업 대표, 관련업무 공무원 등 최초로 16명으로 구성된 울릉도·독도 지질공원 운영위원회를 위촉·구성하였고, 현재는 2016년 재구성하여 14명으로 구성·운영 중이다(그림 11a). 위원의 임기는 2년으로 연임할 수 있으며, 당연직 위원의 임기는 해당 직에 재직하는 기간이다. 지질공원 인증 추진에 관한 사항, 지질공원 관리계획 수립 및 변경에 관한 사항, 지질공원의 체계적인 보전·활용·관리·운영에 관한 사항, 지질공원에 대한 홍보 및 주민 참여에 관한 사항, 그 밖에 군수가 필요하다고 인정하여 회의에 부치는 사항 등을 심의·의결하는 기능을 한다.

한편 2013년, 지질공원 관리계획 학술연구용역을 진행하여, 중장기 및 실행계획을 수립하였다. 그 내용에는 관리·운영의 강점과 약점 분석, 지질공원의 장래 발전 전망, 지속가능 발전을 위한 정책 및 우선 순위 등의 내용이 담겨져 있다.

4.3 해설과 환경 교육

울릉도·독도에는 25명(2013년 15명, 2014년 10명 양성)이 지질공원해설사 양성교육을 받은 뒤(그림 11b) 자격을 취득하여 지질공원에 대한 지식을 체계적으로 전달하고 지질공원에 대한 해설, 홍보, 교육, 탐방안내 등을 전문적으로 수행 중이며, 2016년도에 5명을 추가 양성할 계획이다. 매년 1회씩, 1년 분 단체 상해보험가입을 가입하여 해설활동 과정에서 발생할 수 있는 만일의 사고에 대비하고 있다. 지

질공원해설사는 매년 울릉군 자체계획에 따라 운영되며, 2016년에는 4월부터 지질공원 탐방객센터, 봉래폭포, 도동 및 저동 해안산책로, 태하 해안산책로 및 대풍감, 관음도에 매일(1일 8시간 기준) 1명씩, 나리분지와 거북바위 및 향나무자생지는 금, 토, 공휴일에 1명씩 고정 배치하여 지질명소를 찾는 관광객 및 주민들에게 해설을 제공하고 있다. 단체관광객 요청이 있을 시 동행하여 해설을 제공하기도 하나 아직은 문화관광해설사에 비해 인지도가 높지 않아 해설요청이 드물다. 매년 3월경에는 지질학개론, 지질공원 제도, 울릉도·독도의 지질·생태·역사·문화·안전교육 등 자체심화교육을 4회 실시하여 해설역량강화에 힘쓰고 있다(그림 11c). 주요 지질명소에 해설사대기소를 설치하여 체계적으로 운영할 예정이다.

울릉도·독도 국가지질공원의 홍보 및 교육을 위하여 인쇄물을 제작·배부하였는데, 대중을 위한 울릉도·독도 지도와 지질명소별 간략한 설명 등을 적은 8개 언어 리플릿(한국어, 영어, 중국어, 일본어, 러시아어, 스페인어, 프랑스어, 아랍어), 울릉도·독도 국가지질공원에 관한 더욱 쉽고 자세한 안내를 적은

2개 언어 소책자(한국어, 영어), 지질공원 개념 및 울릉도·독도의 지질학적 특징을 자세하게 설명한 교육교재인 길라잡이(한국어), 울릉군의 관광중사자들을 위한 해설실무 가이드북(한국어) 등이 있다. 또한 2014년에는 울릉도·독도 국가지질공원을 영상으로 쉽고 재미있게 배울 수 있는 2개 언어 홍보영상(한국어, 영어)을 CD로 제작하였고, 8월 29일에는 KBS VJ특공대 프로그램에 방영을 하였다. 그 밖에도 울릉도·독도 국가지질공원 홈페이지를 운영 중이며, 신문광고나 기사에서도 지속적으로 울릉도·독도 국가지질공원을 홍보·교육 중이다.

또한 울릉군에서 개최되는 각종 민간·단체 교육에서 지속적으로 홍보·교육을 추진하고 있는데, 2박 3일간 진행되는 전국 공무원 독도아카데미 시 1일차 실내교육 시간 중 30분을 활용하여 강의를 한 것이 대표적인 사례이다(그림 11d). 2013년 10회(1,210명), 2014년 14회(1,793명), 2015년 16회(2,117명) 교육을 통해 전국 공무원 총 5,120명에게 지질공원의 개념 및 울릉도·독도 국가지질공원 인증·운영현황을 교육한 바 있다. 또한 매년 1회 열리는 청소년 독도아카데미에서도 2015년부터 두 차례에 걸쳐 320명의



Fig. 11. Support system and active management for the geopark. (a) Geopark committee, (b) Education for geopark guide, (c) In-depth education for geopark guide, (d) Geopark education for public official by the geopark expert.

경북지역 중·고등학생들에게 울릉도·독도 국가지질공원의 지질학적 특징을 교육하였다. 울릉도 주민들의 교육을 위해서는 매달 울릉군에서 발행하는 반상회보에 국가지질공원 인증 및 지질명소의 지질학적 특징 등을 15회에 걸쳐 연재한 바 있다.

4.4 지질관광

울릉도·독도 국가지질공원의 탐방객 수는 입도선박 이용인원으로 추산하고 있다. 2011년 351,370명, 2012년 375,177명, 2013년 415,180명으로 지질공원 인증 후, 증가하는 추세를 보이다가 2014년, 2015년, 세월호 및 메르스 사태로 감소한 경향을 보였으나, 2016년 8월 31일 기준, 268,057명으로 추산되는 것으로 보아 다시 증가추세를 보일 것으로 예상된다(그림 12). 울릉도·독도 국가지질공원을 보존·활용함으로써 기존 경관관광에 머무르는 일회성 관광에서 벗어나 보고, 즐기고, 배우는 관광을 통하여 관광의 질을 향상시켜 일명 ‘단골’관광객 유치를 도모하여야 하며, 이를 위해서 관광기반시설 확충 및 홍보 활동이 필요하다.

울릉도·독도 국가지질공원은 2012년부터 현재까지 주안내판, 설명표지판, 표찰, 주의·준수 안내판 등 한국어와 영어로 표기한 80여개의 안내표지판을 설치하여 관광객들에게 지질공원에 관한 정보를 제공 중이다(그림 13a). 안내표지판은 주기적인 모니

터링을 통하여 파손 시 즉각 보수를 하고 있으며, 보완설명이 필요한 명소의 경우에는 추가적으로 안내 표지판을 설치할 예정이다. 사동항 여객선터미널 서편에는 2014년부터 지질공원 탐방객센터를 설치하여 지질공원해설사가 매일 오전·오후 2명씩 교대로 배치하여 울릉도·독도 국가지질공원에 관한 정보를 제공 중이다(그림 13b). 이곳에는 울릉도와 관련된 각종 보고서와 울릉도의 대표암석 표본을 비치하고 있으며, 지질공원 인쇄홍보물을 대여 혹은 제공하고 있다. 최근 리모델링 공사를 마친 독도박물관에는 키오스크 및 패널을 활용하여 지질공원 정보를 검색할 수 있다(그림 13c). 역사문화체험센터에서도 부정기적으로 지질공원 체험활동을 하거나 지질공원에 관한 정보를 얻을 수 있으며, 향후 설치될 전시·관람시설에도 지질공원에 관한 정보를 제공할 예정이다.

울릉군에서 매년 개최되는 5월 어린이날 행사(그림 13d), 8월 오징어축제, 9~10월경 사회복지박람회 행사 시 체험부스를 운영하여 관광객 및 주민들에게 지속적으로 홍보 중이다. 2016년 2월, 동대구역, 포항역에서 울릉도·독도 국가지질공원 홍보를 위한 트래블마트에 참여하였고, 7월에는 4개시·군(울진, 영덕, 포항, 경주)과 연계한 관광프로그램인 ‘동해안 지질대장정’ 행사를 일반인 100명을 대상으로 성황리에 마쳤다(그림 13e). 또한 2013년부터 연 1회 개최되는 한국의 국가지질공원 심포지엄(워크숍, 해설

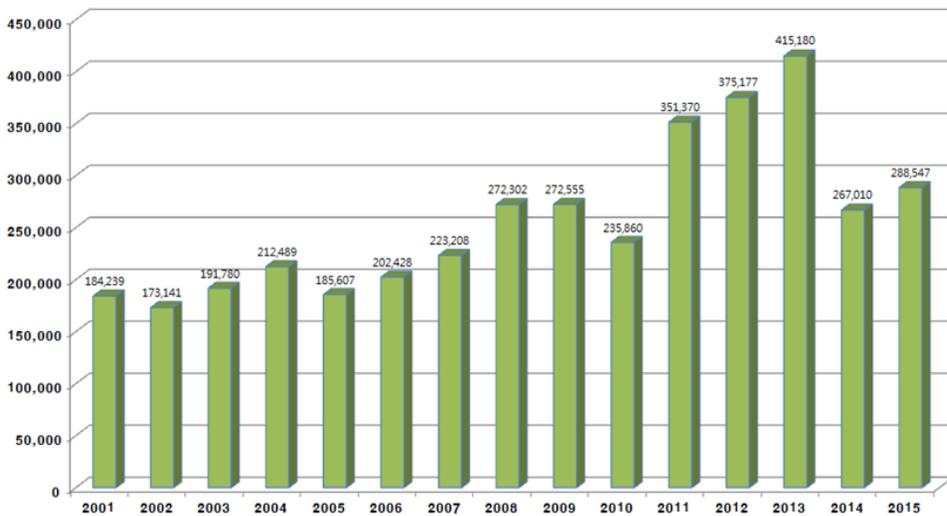


Fig. 12. Annual populations of visitors to Ulleungdo.

사 경연대회, 홍보·체험 부스 운영 등)에 참가하여 국내 국가지질공원 간 교류와 협력을 도모하고 있다. 한국지질공원 네트워크(KGN, Korea Geopark Network)를 결성하여 타 국가지질공원과의 네트워크를 강화하였다. 나아가서 2년에 한 번씩 개최되는 유네스코 세계지질공원 네트워크 총회와 아시아·태평양 지질공원 네트워크 총회에도 참가하여 전 세계 지질공원과 정보를 교류하고 있다(그림 13f).

4.5 지속가능한 지역경제발전

울릉도·독도 국가지질공원은 2013년에 주요 지질

명소가 있는 마을 3개소(울릉읍 도동3리, 서면 태하 1리, 북면 현포1리) 및 관광 운수업체인 경북전세버스사업조합 울릉협의회와 협약을 체결한 바 있다. 협력마을과는 해설사 우선지원교육, 지질명소 보호·관리 등, 협력업체와는 해설자료 제공 및 안내교육 실시, 지질공원 관광코스 프로그램 개발·운영 등을 서로 공조하기로 하였다. 향후 지역 특산품 생산·판매 업체, 요식업, 숙박업소 중 협력업체를 선발, 긴밀한 관계를 유지할 예정이다. 상표등록을 완료한 울릉도·독도 국가지질공원 로고를 협력업체에게만 사용을 허가하는 방식을 고려할 수 있다.



Fig. 13. Geopark facilities and active management for the geopark. (a) Guide map, (b) Visitor center, (c) Dokdo museum kiosk, (d) Making echo-bags on Children's day, 2016, (e) A completion ceremony of a long walk from the coast of East Sea to Ulleungdo, August, 2016, (f) A presentation for Ulleungdo-Dokdo geopark by the geopark expert at APGN, 2013.

5. 결론 및 요약

국내 최초 국가지질공원으로 인증 받은 울릉도·독도 국가지질공원에는 총 23개소의 지질명소가 있는데, 일부 지역은 법이나 조례로 보호받고 있다. 울릉도·독도 국가지질공원 관리를 위하여 울릉군에서는 지질전문가를 포함한 지질공원 추진팀을 운영 중이며, 울릉도·독도 관리 및 운영에 관한 조례에 따라 울릉도·독도 지질공원 운영위원회를 구성하고, 지질공원해설사를 양성하였다. 다양한 인쇄홍보물, 시청각 자료 등 각종 교육·홍보 자료 제작하고, 80여 개의 안내 표지판 및 지질공원 탐방객센터 설치 등 관광기반 시설확충, 대내외에서 개최되는 각종 민간·단체 교육 및 행사 시 홍보·교류 활동 등을 지속적으로 수행해 왔다. 이와 같이 울릉도·독도의 우수한 지질유산 자원을 보전하고 교육·관광 사업 등에 활용한다면 재방문 관광객의 수는 급증할 것으로 예상된다. 교육·관광 프로그램의 체계적 운영과 지역업체와의 협력사업을 강화한다면 지역경제 활성화 및 세계지질공원 인증에 기여할 수 있을 것이라 기대한다. 울릉도·독도 국가지질공원에는 이와 같은 육지와 차별된 다양한 지질유산이 있으며, 특히 국가영토수호 차원에서 중요한 역할을 하는 곳인 만큼 국가차원에서 지속적인 관심과 체계적인 지원이 요구된다.

사 사

원고초고를 상세하게 검토하고, 부족한 부분에 대하여 개선점을 제시해 주신 경상대학교 정종옥 박사님과 익명의 심사위원, 논문의 구성과 전체적인 방향에 유익한 조언을 해 주신 전용문 박사님께 심심한 사의를 표한다.

REFERENCES

- Bae, S.G., 2011, Volcanic stratigraphy and formation environment of the Basaltic Agglomerate Formation in Ulleung Island - around Dodong and Jeodong. MS Thesis, Kyungpook National University, 72 p (in Korean).
- Bae, S.G., Choo, C.O. and Jang, Y.D., 2012, Mineralogical characteristics of tachylite occurring in basic dike, Basaltic Agglomerate Formation, Ulleung Island and its Implications of volcanic activity. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 25, 63-76 (in Korean with English abstract).
- Bae, S.G., Choo, C.O. and Jang, Y.D., 2014, Volcanological features and activation plan as a geosite of Dodong and Jeodong seashore walkways in Ulleung Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 50, 71-89 (in Korean with English abstract).
- Blake, S., 1990, Viscoplatic models of lava domes. In: Fink, J.H. (ed.) *Lava Flows and Domes, Emplacement Mechanisms and Hazard Implications*, IACVEI Proceeding in Volcanology, vol. 2, Berlin, Springer Verlag, 88-126.
- Cas, R.A.F., Yamagishi, H., Moore, L. and Scutter, C., 2003, Miocene submarine fire fountain deposits, Ryugazaki headland, Oshoro peninsula, Hokkaido, Japan: implications for submarine fountain dynamics and fragmentation processes. In: White, J.D. L., Smellie, J.L., Clague, D.A. (Eds.), *Subaqueous Explosive Volcanism*. AGU, Washington DC, 299-316.
- Goto, Y. and McPhie, J., 2004, Morphology and propagation styles of Miocene submarine basaltic lavas at Stanley northwestern Tasmania, Australia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 130, 307-328.
- Hwang, S.K., Hwang, J.H. and Kwon, C.W., 2012, Geological report of the Ulleung sheet. *Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*, 84 p.
- Hwang, S.K. and Jeon, Y.G., 2003, Eruption cycles and volcanic form of the Dokdo volcano, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 36, 527-536 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K. and Jo, J.H., 2016, Risk analyses from eruption history and eruptive volumes of the volcanic rocks in Ulleung Island, East Sea. *Economic and Environmental Geology*, 49, 181-191 (in Korean with English abstract).
- Im, J.H. and Choo, C.O., 2015, A study on tree-ring dating and speciation of charcoal found in pumiceous deposit of the Quaternary Nari caldera, Ulleung Island, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 48, 501-508 (in Korean with English abstract).
- Im, J.H., Shim, S.H., Choo, C.O., Jang, Y.D. and Lee, J.S., 2012, Volcanological and paleoenvironmental implications of charcoals of the Nari Formation in Nari Caldera, Ulleung Island, Korea. *Geosciences Journal*, 16, 105-114.
- Kim, G.B., Cronin, S.J., Yoon, W.S. and Sohn, Y.K., 2014, Post 19 ka B.P. eruptive history of Ulleung Island, Korea, inferred from an intra-caldera pyroclastic sequence. *Bulletin of Volcanology*, 76, 802-828.
- Kim, K.H., Tanaka, T., Nagao, K. and Jang, S.K., 1999, Nd and Sr isotopes and K-Ar ages of the Ulleungdo alkali volcanic rocks in the East Sea, South Korea. *Geochemical*

- Journal, v.33, p. 317-341.
- Kim, Y.K. and Lee, D.S., 1983, Petrology of alkali volcanic rocks in northern part of Ullung Island. Korean Institute and Mining Geology, 16, 19-36 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.K., Lee, D.S. and Lee, K.H., 1987, Fractal crystallization of the volcanic rocks from Dog Island, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 23, 67-82 (in Korean with English abstract).
- Min, K.D., Kim, O.J., Yun, S., Lee, D.S. and Kim, K.H., 1988, Application of plate tectonics to the post-late Cretaceous igneous activity and mineralization in the southern part of South Korea (II). Journal of the Geological Society of Korea, 24, 11-40 (in Korean with English abstract).
- Moore, J.G., 1975, Mechanism of formation of pillow lava. American Scientist, 63, 269-277.
- National Geoparks of Korea, 2013, Geopark Guide Book, 51 p.
- Okuno, M., Shiihara, M., Torii, M., Nakamura, T., Kim, K., Domitsu, H., Moriwaki, H. and Oda, M., 2010, AMS radiocarbon dating of Holocene tephra layers on Ulleung Island, South Korea. Radiocarbon, 52, 1465-1470.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H., 1994, Geology and evolution of Tok Island, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 30, 242-261 (in Korean with English abstract).
- Song, Y.S., Park, K.H. and Park, M.E., 1999, Major, rare-earth and trace geochemistry of Ulleungdo volcanic rocks. Journal of the Petrological Society of Korea, 8, 57-70 (in Korean with English abstract).
- Song, Y.S., Park, M.E. and Park, K.H., 2006, Ages and Evolutions of the Volcanic Rocks from Ulleung-do and Dok-do. Journal of the Petrological Society of Korea, 15, 72-80 (in Korean with English abstract).
- Won, J.K. and Lee, M.W., 1984, The volcanism and petrology of alkali volcanic rocks, Ullung Island. Journal of the Geological Society of Korea, 20, 296-305 (in Korean with English abstract).
- Woo, K.S., 2014, Qualification and prospect of national and global geoparks in Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 50, 3-19 (in Korean with English abstract).

Received : September 8, 2016

Revised : October 24, 2016

Accepted : October 25, 2016