



## <Review>

# 제주도 하논 화산분화구의 지질유산 가치와 활용방안

윤석훈

제주대학교 지구해양학과

### 요 약

하논 화산체는 제주도의 후기 단계 화산활동을 대표하는 지질유산의 하나로서 다음과 같이 세 가지 관점에서 국제적 혹은 국가적 수준의 지질학적 가치를 갖는다. 첫째, 국내에서 유일한 마르형 수성화산체로서 화산 지형학적으로 국가적 가치를 지닌 지질유산이다. 둘째, 제주도의 응회구-응회환-마르로 이어지는 수성화산체의 지형학적 스펙트럼을 확장함으로써 세계적으로 탁월한 가치를 지닌 제주도 지질유산의 다양성 제고에 기여한다. 셋째, 분화구 습지퇴적층은 제주도뿐만 아니라 동아시아 지역의 고식생과 기후변화 연구에 중요한 국제적 수준의 지질유산이다. 이러한 지질학적 가치에도 불구하고 하논은 최근까지도 인위적인 훼손과 개발로 인해 지형과 식생이 변형 혹은 파괴 되어왔다. 따라서 하논의 지질유산 가치 제고와 지속가능한 활용을 위해서는 유산가치와 완전성에 따라 보전을 위한 구역과 친환경적 이용이나 개발이 가능한 구역으로 차별화하여 치밀한 복원과 활용 계획이 수립되어야 한다. 유산의 활용은 환경교육, 체험학습, 생태관찰 등의 교육활동과 지질·생태관광, 그리고 하논의 훼손과 복원 과정을 담은 문화역사관광, 지역주민의 휴식을 위한 생태공원 조성 등의 자연친화적 방안을 고려해볼 수 있다. 이와 함께 주변 지역의 지질유산 및 관광 기반시설과 연계한 지질명소군(지오클러스터) 지정 등을 통해 유산의 활용과 지역경제 활성화를 극대화할 수 있을 것이다.

**주요어:** 하논 마르, 화구호 퇴적층, 지질학적 가치, 지질유산 활용

**Seok Hoon Yoon, 2019, Geoheritage value and utilization plan of the Hanon volcanic crater, Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea. v. 55, no. 3, p. 353-363**

**ABSTRACT:** The Hanon volcano is one of the outstanding geoheritages representing the late stage of volcanic activity in Jeju Island, Korea. Its volcanic topography and strata have a world- to national-class geological value for following three reasons. First, Hanon is only one hydrovolcano possessing maar-type crater in Korea, which assigns a national significance in volcanic topographic field. Second, the unique maar-type crater of Hanon volcano improves the diversity of geoheritage in Jeju volcanic islands expanding a spectrum of the hydrovolcano from tuff cone and ring to maar. Finally, the crater-lake deposit in Hanon has a world-class geological value, providing various paleoenvironmental proxies to studies on paleoecosystem and paleoclimate changes in East Asia region as well as Jeju Island. In spite of these invaluable geological significances of Hanon, the anthropogenic modification and destruction of topography and ecosystem have continued until very recently. For an improvement of geoheritage value of Hanon and its sustainable utilization, it is necessary to make elaborate plans for restoration and land usage, differentiating the crater and its surrounding areas into conservation, eco-friendly utilization and development zones depending on geological significance and integrity of individual areas. The Hanon geoheritage can be utilized as a place of environmental education, geo- and eco-tourism, culture-historical tourism, and ecological park for local resident. Furthermore, designation of a complex heritage area (i.e. geo-cluster) including Hanon and its neighboring geoheritage sites and tourism infrastructures will help local communities maximize the sustainable utilization and social-economic development.

**Key words:** Hanon maar, crater lake deposit, geological value, geoheritage utilization

(Seok Hoon Yoon, Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University, Jeju 63243, Republic of Korea)

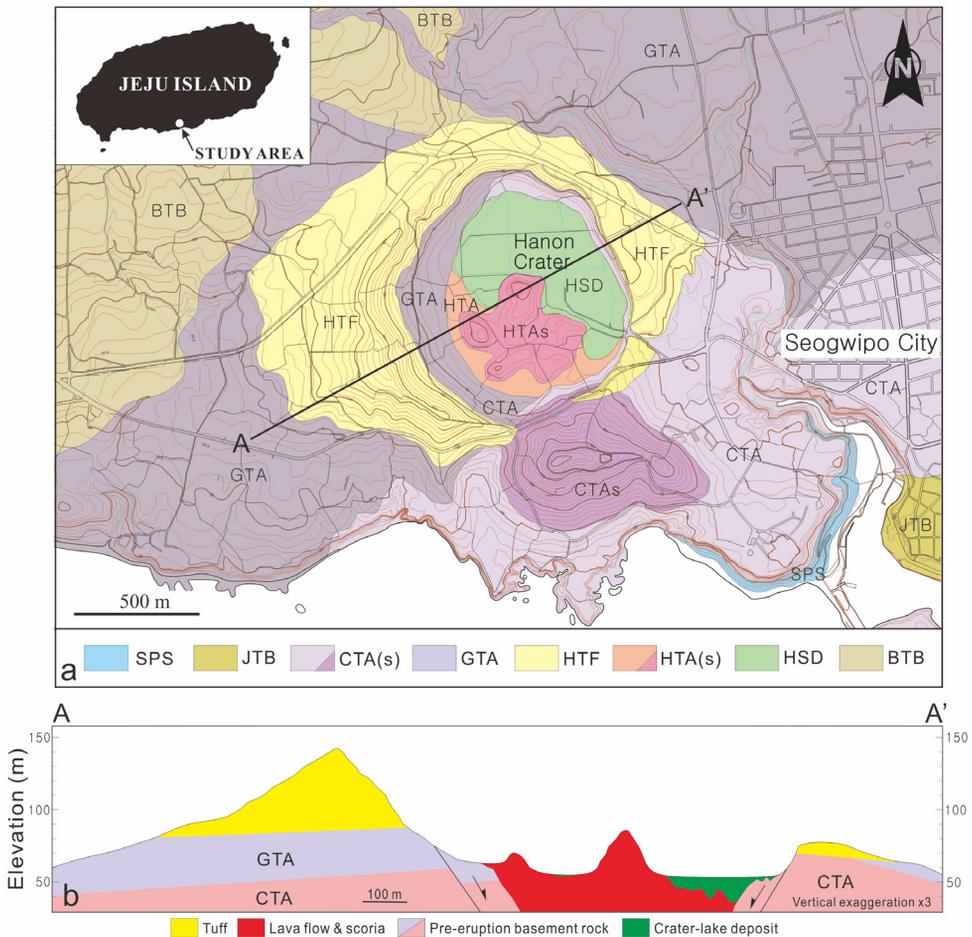
‡ Corresponding author: +82-64-754-3436, E-mail: shyoon@jejunu.ac.kr

1. 서 언

제주도 서귀포시 중심에 위치한 하논은 직경이 1.0~1.2 km에 달하는 제주도 최대 규모의 화산 분화구이다(그림 1). 대부분 분석구(scoria cone)로 분류되는 제주도의 다른 화산체들과는 달리, 하논은 응회암 화구륜과 그 내부에 최대 약 15 m 두께의 습지 퇴적층이 형성되어 있으며 분화구 중심부가 주변 지표면보다 평균 30 m 정도 낮아서 국내에서는 보기 드문 마르(maar)형 화산체로 분류된다(Yoon *et al.*, 2006a). 특히 습지퇴적층에는 제주도 주변 동아시아 지역의 과거 식생천이와 기후변화를 밝힐 수 있는 중요한

환경정보들이 간직되어 있어서 고기후학 및 환경생태학 전문가들의 지속적인 연구의 대상이 되고 있다(Matsuoka *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2014a; Hyun *et al.*, 2017).

하논 화산체는 지금으로부터 약 35,000년 전에 수성분출에 의해 형성되어 분화구 내에 원래 호수나 습지가 형성되어 있었던 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 2006a). 그러나 500여 년 전에 주민들이 화구륜 일부를 터서 습지를 논으로 개간하면서 경작이 시작되었으며 1900년대 후반에는 감귤과수원, 사찰, 주택, 도로 등 인위적 시설물이 분화구 안팎에 조성되면서 원래의 화산 지형과 원식생이 심각하게 훼손되었다. 특



**Fig. 1.** Geological map (a) and schematic cross-section (b) of the Hanon crater and surrounding area. Contour interval is 5 m. Distribution of volcanic rocks in the surrounding area is modified from Jeju-do (2000). BTB: Beobjeongdong trachybasalt, CTA(s): Cheongiyeon trachyandesite or scoria, GTA: Gaksubawi trachyandesite, HTA(s): Hanon trachyandesite or scoria, HSD: Hanon crater-lake deposit, HTF: Hanon tuff, JTB: Jeongbangdon trachyandesite, SPS: Seogwipo Formation. Modified from Yoon *et al.* (2006a).

히, 2002년에는 야구전지훈련장 건설이 추진되는 등 난개발의 위기에 처하기도 하였으나, 환경전문가와 시민단체들을 중심으로 하논의 생태 및 경관적 가치에 따른 보존 필요성이 제기되어 개발사업은 백지화되었다. 그 후 하논 보존과 복원을 요구하는 지역사회 여론이 점차 확대되면서 2012년 세계자연보전총회(World Conservation Congress)에서 복원의제로 채택되었고 이후 대통령 및 제주도지사 선거공약으로 제시되는 등 하논 분화구의 복원을 위한 추진 동력을 얻어 현재 제주특별자치도와 시민단체가 협력하여 단계적인 보전 및 복원 사업이 이루어지고 있다. 이 논평에서는 하논 분화구에 대한 기존의 지질학 분야의 연구들을 고찰하여 지질유산적 가치를 재조명하고 향후 지속가능한 활용의 방향을 제시함으로써 하논 분화구의 복원에 대한 학술적 근거 확보와 추진 방향 설정에 도움을 주고자 한다.

## 2. 지역 개관

하논은 행정구역상으로 제주도 서귀포시 서홍동에 속하며, 하논의 중심부는 서귀포시 외돌개 해안으로부터 북쪽으로 약 1.2 km 떨어진 해안내륙에 위치한다. 분화구 내부의 면적은 총 989,300 m<sup>2</sup>이며, 2014년 기준으로 토지의 75.5%는 전, 답, 과수원 등의 농지이고 사유지가 90% 이상으로 대부분을 차지한다(Seogwipo City, 2014). 주변지역에는 화산 분석구(삼매봉), 하천계곡(호근천, 솜반천)과 폭포(천지연) 등이 발달하고 있으며, 분화구 내에는 몰망수, 동연새미, 첫연새미 등 3개의 용천수가 있다. 역사기록(신동국여지승람, 탐라지 등)에 따르면, 이들 용천수를 주요 수원으로 하여 하논에는 원래 습지 혹은 연못이 형성되어 있었으나 1500년대에 검메목(높이가 가장 낮은 남동부 화구륜)을 뚫어 수위를 낮춘 후에 논밭이 조성되었다. 현재까지도 분화구내의 저지대에서는 용천수로부터 수로를 내어 논농사가 이루어지고 있다. 1960년에서 1980년대 중반에는 분화구 안팎의 경사지와 구릉지 등 대부분의 토지에서도 감귤농사가 시작되었고 이에 따라 주택, 창고, 농업용 하우스, 사찰 등의 건축물도 들어서면서 원래의 자연생태계는 거의 소멸하게 되었다. 하논의 동물상은 조류, 어류, 양서류, 파충류, 포유류 등 총 47종으로 보고되었다(Seogwipo City, 2004). 식물상으로는 양치식물 21종, 나자식물 11종, 피자식물 340

종 등, 총 372종이 보고되었는데, 지속적으로 이루어지고 있는 경작 등의 인위적인 간섭의 결과로 식재 및 재배식물, 외래식물의 비중이 높게 나타난다(Seogwipo City, 2014).

## 3. 지형지질학적 특성

### 3.1 지형

하논 화산체는 한라산 남쪽 해발고도 50~110 m의 완경사 서귀포 해안지대에 최대 63 m의 높이로 형성되어 있는 마르형 응회암이다(Yoon *et al.*, 2006a). 화산체는 현재 지표에서 확인되는 응회암 분포로 볼 때 동서방향으로 약 1.8 km, 남북방향으로 약 1.3 km의 너비를 갖고 있다(그림 1a). 화산체의 중심에는 원형의 분화구가 형성되어 있는데, 화구륜의 직경은 1.0~1.2 km로 제주도 화산체 중에서 가장 큰 규모이다. 분화구의 외곽사면은 남서측 일부 지역을 제외하면 대부분 10° 이하의 완경사를 보이는 반면, 분화구 내측사면은 대부분 10° 이상, 최대 50°까지의 급경사로 나타난다. 단면상에서 분화구는 약 80 m의 고도차를 보이는 서고동저의 비대칭적인 모습을 보인다(그림 1b). 분화구 내부에는 평지와 비고 20 m 내외의 소규모 구릉(분석구)들이 발달하는데, 평지는 화구륜 정상보다 최대 90 m, 화산 외곽의 지표면보다 최대 60 m 정도 낮은 표고를 보인다. 이로 인해 하논 분화구 내에는 외곽 지층을 통해 흐르던 지하수가 지표로 흘러나오는 용천수가 발달하고 있다.

### 3.2 지질

하논 분화구 주변에는 하부로부터 서귀포층, 정방동조면현무암, 천지연조면안산암, 각수바위조면안산암(한라산조면암), 법정동조면현무암 순으로 퇴적암과 화산암 지층들이 발달하고 있는데(Park *et al.*, 2000)(그림 1a), 하논 화산체는 천지연조면현무암과 각수바위조면안산암을 기반암으로 하여 화산활동 시에 형성된 응회암층과 용암류 및 스킨리아(scoria) 등으로 이루어져 있다(Yoon *et al.*, 2006a).

#### 3.2.1 기반암

하논 화산체는 층서적으로 천지연조면안산암과 각수바위조면안산암 등의 용암류 화산암층을 피복하고 있는데, 이들 기반암층은 분화구 안쪽의 북부

와 서부사면에서 응회암으로 덮이지 않고 국지적으로 노출되어 나타난다. 서귀포-하효리 지질도폭(Park *et al.*, 2000)에 따르면, 천지연조면안산암은 주로 하는 화산체의 남쪽과 동남쪽 일대에 분포하는데, 지화화조성은  $\text{SiO}_2$  54.02~54.62%,  $\text{Na}_2\text{O}$  4.76~4.81%,  $\text{K}_2\text{O}$  3.36~3.48% 범위를 보이며, 분출시기는 11.6만 년 전(Ar-Ar법)으로 보고되어 있다. 한편, 각수 바위조면안산암은 약 1 m 두께의 고토양층을 사이에 두고 천지연조면안산암을 피복하고 있는데, 주로 하는 화산체의 북쪽에 분포한다. 회색 내지 암회색을 띠며 5~10 mm 크기의 사장석 반정을 포함하고 있으며, 하는 화산 주변과 분화구 내부의 노두에서는 유동 구조와 다량의 자파쇄각력(*autobreccia*)이 함유된 클링커층이 관찰된다. 하는 분화구 내의 노두는  $\text{SiO}_2$  54.16%,  $\text{Na}_2\text{O}$  4.4%,  $\text{K}_2\text{O}$  2.69%의 화화조성을 보이며(Yoon *et al.*, 2006a), 형성연대는 약 7.6만년(K-Ar법)으로 보고되어 있다(Park *et al.*, 2000).

### 3.2.2 하는 화산암

하는 화산체는 분화구 내부에 분포하는 용암류 화산암을 제외하고는 대부분 응회암으로 구성되어 있다. 응회암층은 화구륜을 중심으로 주로 동서 방향으로 반경 600~900 m 지역에 분포하는데, 화구륜에서 5~65 m의 두께로 나타난다. 대부분 조립의 화산재와 라필리, 그리고 소량의 압괴로 이루어진 응회암층에서는 주로 조면안산암(*trachyandesite*)의 조성을 보이는 본질입자와 함께 현무암질(*basaltic*) 암편이나 석영입자 등의 이질입자도 함께 나타난다(Yoon, 2004; Yoon *et al.*, 2006a). 응회암층 절개지 노두에서는 평형층리, 파동형층리, 침식 및 하도구조, 탄낭 등 화구 근접부 응회암층에서 일반적으로 형성되는 화산퇴적구조들이 나타난다(Park *et al.*, 2003).

한편, 분화구 내에는 화산분출 시에 형성된 소규모 분석구가 나타나며, 시추를 통해 분화구 중심에는 습지퇴적층 하부에서 용암류 화산암이 분포하는 것으로 확인되었다. 분석구를 구성하는 스코리아는 다양한 크기의 다공질 입자로서 적갈색을 띠며 유리질 특성을 보인다. 시추를 통하여 채취된 용암류는 담회색 혹은 암갈색을 띤 다공질 암석으로서, 대부분 비현정질 및 유리질 조직을 보이며 1~3 mm 크기의 장석 반정이 소량 함유되어 있다. 지화학분석 결과에 따르면 현무암질 조면안산암(*basaltic trachyan-*

*desite*)으로 분류된다(Yoon *et al.*, 2006a).

### 3.3 화구호 퇴적층

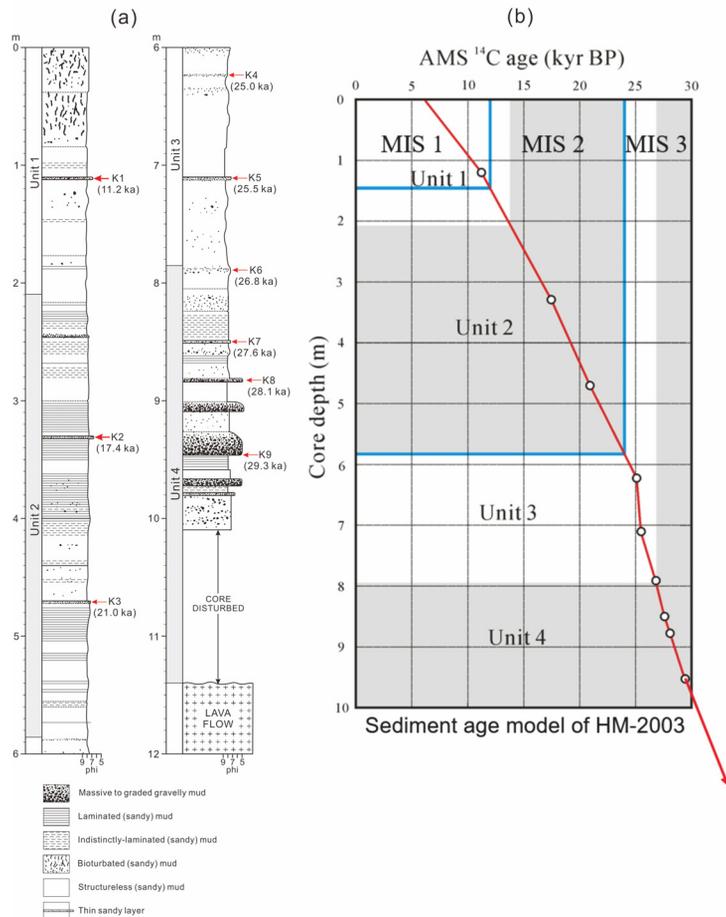
응회암 화구륜으로 둘러싸인 하는 분화구 내에는 시추와 전기탐사를 통해 북부 구역을 중심으로 최대 두께 약 15 m의 세립질(평균입도 7.8  $\Phi$ ) 퇴적층이 집적되어 있는 것으로 확인되었다(Yoon, 2004; Yoon *et al.*, 2006a). 하는 퇴적층의 조직, 지화학, 대자율 특성은 화구호 및 습지 환경에서 퇴적된 것임을 지시하는데(Yoon *et al.*, 2006b), 화산활동의 종결에 따른 화구호의 형성시기를 파악하기 위해서는 층서적으로 최상위에 놓인 용암류나 직상부 퇴적층의 연대가 분석되어야 하지만 현재까지 이와 관련된 분석결과가 보고된 바는 없다. 다만, 퇴적층에서 취득된 시추시료에 대한  $^{14}\text{C}$  동위원소 연대측정(Matsuoka *et al.*, 1995; Yatagai *et al.*, 2002)과 화산테프라층의 대비(Lee, 2004)를 통해 제한된 층준(심도 0~10 m 구간)에 대해서만 연대가 제시되어 있다. 한편, Yoon *et al.* (2006b)은 시추코어에서 퇴적물의 조직, 색상 및 X-선 사진 상의 퇴적구조 등을 고려하여 4개의 층단위를 구분하고(그림 2a), Yatagai *et al.* (2002)이 제시한 퇴적층 하부 구간의 AMS (Accelerator Mass Spectrometry)  $^{14}\text{C}$  연대에 기초하여 하는 화구호 퇴적층 최하부의 집적 시기를 약 34,000년 전으로 추정하였다(그림 2b). 이 연구에 따르면, 최상부 층단위 1은 MIS (Marine Isotope Stage) 1에 해당하는 홀로세 동안에, 층단위 2는 최후빙하절정기(LGM: Last Glacial Maximum)에 해당하는 MIS 2 동안에, 그리고 층단위 3과 4는 MIS 3 동안에 형성된 것으로 해석하였다(그림 2b).

### 3.4 화산체 형성 및 화구호 환경변화

응회암으로 구성된 화산체는 대부분 수성분출의 결과로 해석되는데, 하는 분화구는 현재 해발고도 65~85 m에 위치해 있고, 화산분출이 일어난 약 34,000년 전에는 해수면이 현재보다도 약 65 m 낮아져 있었다. 따라서 하는의 수성분출은 마그마가 지하수와 접촉하면서 야기된 것으로 보는 것이 타당하다. 특히, 하는 분화구는 직경이 1 km 이상으로 대규모이며, 응회암층에는 지하 깊은 곳에 위치한 정방동 조면현무암의 암편과 서귀포층 혹은 U층(Jeong *et al.*, 2016)으로부터 유래된 석영입자가 포함되는

것으로 보아 폭발심도는 수 십 m에서 100 m 이상으로 상당히 깊었던 것으로 보인다. 폭발심도가 깊을 경우, 폭발장소에 가해지는 압력이 일반적으로 커지기 때문에 얇은 심도에서 발생한 분출에 비해 훨씬 강력한 폭발을 일으키게 되며, 이로 인해 야기된 화쇄난류(pyroclastic surge)를 통해 분화구 주변에 응회암층이 집적되었다(Yoon *et al.*, 2006a). 그러나 화산활동이 계속되면서 지하수가 거의 고갈되거나 화구로의 유입이 차단되어 분출양식은 수성분출에서 마그마성 분출로 전이되었다. 그 결과 하논 화산분출의 후반기에는 화산재 대신 용암이 분출하여 분화구 중앙에 분석구와 분화구 내 저지대에 용암연이 형성된 것으로 해석되고 있다(Yoon *et al.*, 2006a).

화산활동이 완전히 종결된 후 분화구 내에는 화구호가 형성되었고 그 이후 최근까지 최대 15 m 두께의 화구호 퇴적층이 집적되었다. 하논 분화구 형성 초기에는 화구호 주변에 식생발달이 미약하고 급경사의 분화구 사면에서 사태가 자주 발생하였기 때문에 화구호에는 주변 응회암으로부터 풍화된 조립질 쇄설성 입자들이 소규모 사태나 질량류의 형태로 유입되었다. 이후 풍화가 지속되어 분화구 사면에 층분한 두께의 토양이 형성되고 식생이 분포하면서 쇄설성 퇴적물의 유입은 감소하여 빙하기(MIS 2) 동안 분화구 저지대에는 수심 2 m 이상의 깊은 호수환경이 유지되었던 것으로 보인다. 하지만 홀로세에 빙하기가 종결되고 점차 기후가 온난해지자 화구호와



**Fig. 2.** (a) Columnar section and sedimentary facies of Hanon crater-lake deposit (modified from Yoon *et al.*, 2006b). (b) The sediment age and MIS correlation of the Hanon core on the basis of AMS <sup>14</sup>C dates (circles) by Yatagai *et al.* (2002). Age of the bottommost sediment (11.4 m deep) is extrapolated based on the sedimentation rate of core interval between 8.0 and 9.2 m.

그 주변에 다양한 식물이 서식하게 되었다. 이와 함께 지속적인 퇴적물 유입으로 화구호의 수심이 2 m 이하로 얕아지면서 습지환경이 우세하게 되었다.

#### 4. 지질유산으로서의 가치

지질유산(geoheritage)이란 후대에 물려주어야 할 지구 자연유산 중의 하나로서, 다양한 지구역사와 생물의 진화를 보여주거나 현재 일어나고 있는 지질학적 현상을 나타내는 장소 또는 대상을 의미한다(Ju and Woo, 2019). 이러한 관점에서 하논은 지질유산의 범주에 포함된다. 특히, 마르라는 독특한 화산지형과 화구호 퇴적층은 약 200만 년 전부터 현재까지 이어진 제주도 형성과정 중에서 후기단계 화산활동의 다양성을 이해하고 식생과 기후변화 연구에 중요한 지질학적 대상이라는 점에서 뛰어난 지질학적 가치를 지닌다고 할 수 있다.

##### 4.1 국내 유일의 마르형 화산지형

현재 제주도에 분포하는 370여 개의 단성화산의 대부분은 스트롬볼리형 또는 하와이형 분출에 의해 만들어진 분석구들이며 약 10여개는 수성화산활동 또는 수증기-마그마성 분출(phreatomagmatic eruption)에 의해 형성된 응회환이나 응화구로 알려져 있다(Sohn, 1996). 하논 화산체도 낮은 높이의 응회암 화구륜을 특징으로 한다는 점에서 응회환으로 분류될 수도 있으나, 분화구 내벽에 기반암이 노출되어 있고, 분화구 기저면이 화산체 주변 지표면보다 25~45 m 정도 깊게 패여 화구호 혹은 습지가 형성되었다는 점에서 분화구가 화산분출물로 채워져 주변보다 높은 분화구를 갖는 응회환과는 뚜렷한 차이를 보인다. 이러한 특성에 따라 Yoon *et al.* (2006a)은 하논 화산체를 '마르(maar)' 혹은 '마르형 응회환(tuff ring with a maar crater)'으로 분류하였다. 전자는 Fisher and Schmincke (1984), Bardintzeff and McBirney (2000) 등의 정의에 따른 것이며, 후자는 Wohletz and Sheridan (1983)의 정의를 따른 것이다. 특히 하논 화산체의 분화구는 직경이 1 km 이상으로 한라산 최대 분화구인 백록담(직경 약 700 m)보다도 큰 규모이며, 분출 후에 일어난 분화구 함몰로 인해 형성된 울릉도 나리분지 칼데라를 제외한다면 국내에서도 가장 큰 화산분화구라고 할 수 있다.

화구호를 갖는 마르 화산체는 전 세계적으로 보면 독일 아이펠(Eifel) 지역이 표식지라고 할 수 있으며, 이외에도 미국, 일본, 캐나다, 카메룬, 아르헨티나, 칠레 등에도 다수의 마르 화산체가 분포하는 것으로 알려져 있다(Sohn, 2011). 그러나 국내에서는 하논을 제외하면 제주도는 물론이고 포항, 한탄강, 울릉도 등 신생대 화산지대나 전남, 경북 등 중생대-신생대 초 화산지역에서도 마르형 화산이 보고된 바는 아직까지 없다. 예전에 제주도의 산굼부리 분화구가 마르 화산체로 알려져 있었으나, 화산체의 구성물이 응회암이 아닌 스크리아와 용암류 화산암으로 되어 있어서 분석구를 기반으로 하는 함몰분화구(pit crater, 직경이 1 km 이하인 소형 칼데라)로 재해석되고 있다(Park *et al.*, 2003). 따라서 하논은 분출 당시의 지형이 상당부분 잘 보존되어 있는 화산분화구로서 마르로 분류되는 분화구 유형으로는 국내에서 유일하며, 이러한 희소성으로 인해 지형지질학적으로 높은 보존 가치를 갖는 것으로 평가될 수 있다. Ju and Woo (2019)는 지질유산의 가치등급을 평가하는 데 있어서 대표성(representative), 희소성(rarity) 그리고 완전성(integrity)을 지표로 하는 방식(탁월한 보편적 가치, 국제적 가치, 국가적 가치, 사도단위 가치 등)을 제안하였다. 이를 적용할 경우, 하논은 인위적 훼손과 마르 화산체의 전 세계적 분포를 고려한다면 완전성과 대표성 지표에서 다소 낮게 평가되어 화산지형 분야에서는 '국가적 가치' 등급을 갖는 것으로 분류될 수 있다.

##### 4.2 제주도 지질유산의 다양성 제고

우리나라의 대표적 화산지대인 제주도는 신생대 제4기 플라이스토세 초기부터 수십만 년에 걸쳐 일어난 대륙붕 환경에서의 수성분출과 그 이후의 간헐적인 육상 용암분출을 통하여 형성된 것으로 알려져 있다(Koh *et al.*, 2013). 그 결과, 제주도에는 현무암질 용암류 및 화산쇄설물로 구성된 화산암층과 함께 '오름'이라고 하는 소형 화산체와 분화구, 용암동굴, 주상절리대 등 다양한 화산기원의 지질유산들이 내륙과 해안은 물론 해저에도 보존되어 있다. 이와 같은 지형·지질 특성의 다양성은 제주도 자연환경의 주요 구성요소로서 제주도가 유네스코 세계자연유산(2007년)과 세계지질공원(2010년)으로 지정되면서 그 중요성과 가치가 세계적 수준임을 입증 받기도 하였다.

그 중에서도 제주도 자연경관의 핵심이라 할 수 있는 370여 개의 소형 화산체들은 분석구(scoria cone), 응회환/구(tuff ring/cone), 용암돔(lava dome) 등으로 분류되는데, 화산체 유형에 따라 분화구의 형태, 구성암석, 지층구조, 형성시기, 분포지역 등이 서로 다르게 나타나기 때문에(Kim, 2001; Sohn *et al.*, 2002; Lee and Yun, 2012; Yoon *et al.*, 2014) 제주도 형성사 연구는 물론 지구과학 및 환경 교육에도 중요한 대상이 되고 있다. 특히, 성산일출봉, 우도, 수월봉, 송악산, 용머리와 같이 제주 해안을 따라 자리잡은 수성화산들은 독특한 지층 노두를 통해 현무암질 마그마가 물과 상호작용을 했을 때 발생하는 폭발적인 화산활동, 즉 섯지형(일출봉, 우도 응회구)에서부터 타리안형(수월봉, 송악산 응회환)까지의 분출결과를 생생하게 보여주고 있다(Sohn, 2010). 이와 같은 측면에서 제주도는 '탁월한 보편적 가치' 혹은 '세계적 가치'를 지닌 현무암질 수성화산의 표식지라 할 수 있다. 하능 화산체 역시 수성분출을 통해 형성된 응회암 화구류와 화구호로 이루어진 마르 분화구로 이해되고 있다. 이러한 하능 화산체의 존재는 응회구-응회환-마르로 이어지는 수성화산체 스펙트럼을 완성하게 함으로써 제주도 지질유산의 다양성 제고에 일조하고 있다. 아울러, 하능 화산체는 독일 아이펠 지역의 수증기성 폭발(phreatic explosion) 기원의 전형적인 마르와는 달리 수성(화산재)분출 이후에도 용암분출로 이어지면서 분화구 내에 분석구와 용암연이 발달하는 복합화산체의 특성을 갖고 있다는 점에서 마르형 화산체의 다양성 확대에도 기여한다고 볼 수 있다.

#### 4.3 고환경 지시자의 타임캡슐

일반적으로 화구호 퇴적층은 분화구 자체기원과 외부기원의 퇴적물로 구성된다. 자체기원 퇴적물은 화구호 내에서 형성된 유기적 및 수성 퇴적물, 그리고 화구류와 분화구를 구성하는 응회암이나 화산암이 풍화를 받아 생성된 쇄설 퇴적물 및 화구호 주변에 서식하는 동식물로부터 유래된 생물기원 입자들이 화구호 안으로 유입된 것을 포함한다. 한편, 외부기원 퇴적물은 주로 바람에 의해 대기 중을 이동하여 화구호로 유입된 것으로서, 먼지, 황사, 화산재, 화분과 포자 등으로 이루어진다. 따라서 화구호 퇴적물의 특성은 분화구 내의 암석학적 특성뿐만 아니

라, 주변 생태계 및 풍계에 영향을 미치는 기후환경 조건에 의해 지배된다. 더욱이 화구호는 저에너지의 폐쇄성 퇴적환경으로서 여기에 집적된 퇴적물은 물리적인 재동이나 교란을 거의 받지 않고 양호하게 보존되기 때문에 고식생 및 고기후 연구에 매우 유리한 조건을 갖추고 있다. 이러한 관점에서 하능 화구호 퇴적층은 고생물학적, 지화학적, 광물학적으로 다양한 고환경 지시자(proxy)를 포함하고 있는 타임캡슐이라 할 수 있다. 특히, 제주도는 동북아시아 대륙과 북서태평양 사이의 중위도 지역에 위치하고 있기 때문에 하능 분화구는 대륙성 기단과 해양성 기단의 상호작용의 결과로 야기되는 과거 수만 년 동안의 동아시아 몬순기후의 주기적 변동을 연구할 수 있는 최적지로 평가되고 있다(Kitagawa, 2010; Lim, 2011).

Lee *et al.* (2008)은 하능 퇴적층의 총유기탄소, 대자율, 주구성원소 분석을 통해 23,000~9,000년 전 사이의 동아시아 몬순 변화와 고기후 변화를 연구하였는데, 중국 내륙지방보다 다소 늦은 18,000년 전의 최후빙하절정기(LGM) 시그널과 14,000년 전 한랭건조 기후에서 온난다습 기후로의 변화를 제시하였다. 한편, Park *et al.* (2014a)과 Park *et al.* (2014b)은 하능 퇴적층에서 화분, 비자기이력잔류자화(anhysteretic remanent magnetization), 총유기탄소, 총질소, 탄소/질소 비, 탄소 및 질소 동위원소 구성, 주구성원소, 입도특성 등을 분석하여 지난 16,000여 년간의 100~1,000년 규모의 기후 및 식생변화와 지난 35,000여 년간의 건조/습윤 기후의 변동양상을 규명하였다. Park and Park (2015)은 화분 분석을 통해 고기온을 복원함으로써 LGM 시기에 제주도 주변 지역의 기온이 현재보다 약 8°C 낮았음을 보이고 제4기 후반 동아시아 해안지역의 급격한 기후변화의 특성과 원인을 제시하였다. 최근에 Hyun *et al.* (2017)은 하능 습지퇴적층의 총유기탄소, C/N비, 육성 n-alkanes, 탄소동위원소 등의 지화학적 분석을 통하여 지난 35,000여 년 간의 기후변화와 식생분포와의 관계를 연구하였는데, 9,200년 전에 국지적으로 급격한 기후변동이 제주도 주변지역에 있었음을 제시하였다. 이와 같이 하능 분화구 습지퇴적층 내에 포함되어 있는 화분화석, 지화학적 성분, 퇴적물 등은 자연의 타임캡슐로서 과거 3만 년 이상의 제주도 및 동아시아지역 기후변화를 규명하는 데 상당한 기여를 하고 있으며, 국내는 물론 외국 학계(Matsuoka *et al.*,

1995; Yatagai *et al.*, 2002)에서도 관심을 갖는 대상이다. 따라서 하논은 고환경 분야에서 ‘국제적 가치’를 지닌 지질유산이라 평가할 수 있다.

## 5. 하논 분화구의 활용방안

지질유산은 보존을 우선시하는 탁월한 보편적 가치의 유산을 제외하고는 대부분 보존과 함께 다양한 방법으로 활용을 하는 것이 세계적인 추세이다. 이러한 지질유산의 활용은 유산지역의 경제 활성화를 도모하며 동시에 유산보존에 대한 주민들의 긍정적 인식을 고양하고 보다 적극적으로 유산 보호활동에 참여하도록 유도하는 효과가 있다. 자연자원의 활용유형은 보전형, 이용형, 개발형 등으로 구분할 수 있다 (Lee, 2011). 보전형은 유산자체의 훼손을 최소화하고 유산의 특성을 친환경적으로 이용하는 생태관광이나 학술연구 위주의 활용이 이루어지는 것이고, 이용형은 토지 및 수자원의 장기간 혹은 지속적 활용이나 위락관광이 어느 정도 허용되는 것이다. 반면에 개발형은 자연자원의 변형을 동반하는 시설물의 설치 등이 보다 광범위하게 허용되는 것이다. 그러나 지질유산은 한번 훼손되면 원래의 상태로 복구하기가 거의 어렵기 때문에, 지질유산의 활용은 유산이 갖고 있는 본래의 자연성을 보전하면서 유산의 잠재적 가치를 이용하는 친환경적이고 지속가능한 활용이어야 한다. 즉, 보전형이나 이용형의 범주에서 활용이 이루어져야 한다.

현재 대부분의 하논 지역 토지는 논, 감귤과수원, 주택, 숙박시설, 사찰 등으로 이용되고 있다. 이런 점에서 본다면 하논은 전형적인 개발형의 활용이 이루어지고 있는 곳이라 할 수 있다. 따라서 하논의 지질유산적 가치를 높이면서 친환경적으로 활용하기 위해서는 복원을 통해 자연성을 최대한 회복하는 것이 우선적으로 필요하다. 그러나 하논 화산체는 분포면적이 넓고(분화구 내부면적 총 989,300 m<sup>2</sup>) 분화구내 토지의 90% 이상이 사유지이며 개발 및 훼손 정도가 심하기 때문에 단기간 내에 모든 구역에서 복원이 이루어지기는 현실적으로 많은 어려움이 있다. 아울러, 도로개설 등으로 제거되고 훼손된 응회암 지층의 경우에는 완전한 자연성 회복이 거의 불가능하다. 따라서 보전형을 기본으로 하되 우선은 친환경적 이용이나 개발 등도 가능하도록 용도구역(핵심보전, 체험학

습/관광, 전시/연구, 이용/편의 등)을 설정하여 복원과 활용을 추진하고, 점차 보전구역과 교육/관광 구역을 확대하는 등의 방안을 고려해볼 수 있다. 즉, 고환경적으로 중요한 화구호 퇴적층은 다행히 지하에 매몰되어 있어서 그 훼손정도가 심하지 않으므로 사유지 매입을 통해 토지소유권을 확보한 다음 분화구의 습지환경을 복원함으로써 기후 등 환경기록장으로서의 자연 기능이 재개될 수 있도록 하여야 한다. 그리고 특성상 완벽한 복원이 불가능한 응회암층을 포함하고 있는 내륜 및 외륜 지역은 지역주민의 참여나 양도를 통해 개발권을 확보하고 전반적인 지형과 자연식생 회복에 주안점을 두어 단계적으로 복원을 추진하되, 주민의 의견수렴을 거쳐 보전형 혹은 이용형을 모델로 하여 활용계획을 수립하는 것이 타당할 것이다.

세부적으로 보면, 하논은 습지와 마르 화산체의 특성을 활용한 환경교육, 체험학습, 생태관찰 등의 교육활동과 지질·생태관광, 그리고 과거 하논의 훼손(개간과 주민거주)과 향후 진행될 복원과정을 스토리텔링화 한 문화역사관광, 지역주민을 위한 휴양휴식공간 등으로 활용될 수 있을 것이다. 이를 위해 탐방 및 관광 코스를 개발하고 자연관찰로, 안내판, 전망데크, 관찰체험장, 전시관, 방문객센터 등의 편의시설도 필요할 것이다. 이와 같은 교육관광 프로그램과 기반 시설이 갖추어진 후에는 안정적이고 체계적인 보존과 활용을 위한 방안의 하나로서 제주도세계지질공원의 지질명소로 지정할 필요가 있다. 지질공원의 지질명소로 지정되기 위해서는 학술적, 교육적 및 관광적 가치가 고려되는데(Woo, 2014), 앞서 제시한 바와 같이 하논은 지질명소로서의 충분한 가치를 갖고 있으며, 이미 제주도세계지질공원의 확대를 위한 지질명소 후보목록에도 포함되어 있다(Jeju Special Self-Governing Province, 2017).

한편, 하논 주변에는 천연기념물 및 제주도세계지질공원 지질명소로 지정된 천지연과 서귀포층, 그리고 외돌개, 삼매봉, 새섬 등의 관광명소, 공공시설인 서귀포 예술의전당 및 기당미술관, 사설의 석부작박물관, 조가비박물관 등이 있는데, 이들과의 연계도 중요하다. 즉, 하논과 그 주변의 지질명소 및 관광명소들을 묶어서 지질명소군(geo-cluster)으로 지정하고, 지질공원의 교육 및 관광 프로그램에 주변의 관광기반 시설들을 연계시킴으로써 지질유산의 활용을 증

진하고 지역사회에 대한 경제적 파급효과를 높이는 방안도 적극 고려해야 한다(Woo, 2010). 이와 함께, 하능의 친환경적인 활용을 극대화하기 위해서는 지속적인 사후관리도 중요하다. 특히 적절한 법적 보호 조치가 이루어지지 않을 경우 앞으로도 훼손 가능성은 상존하기 때문에 복원 후에는 적용 가능한 법률을 통해 유산보호에 적극적으로 대처하여야 한다. 복원과정을 거친 하능의 화산분화구와 화구호 습지에 적용할 수 있는 국내법으로는 환경부 소관의 자연환경보전법, 자연공원법, 습지보전법이 있으며 이를 통해 생태경관보전지역이나 습지보호지역으로 지정할 수 있다(Cho and Woo, 2018).

## 6. 결 언

제주도 서귀포의 하능 화산체는 지금으로부터 약 34,000년 전에 수심 10 m 이상의 지하 깊은 곳에서 마그마와 지하수가 접촉하면서 발생한 폭발적인 수성화산분출의 결과이다. 직경이 1 km가 넘는 하능의 분화구는 분석구나 응회환/응회구로 분류되는 대부분의 다른 제주도 단성 화산체에서와는 달리 중심부가 주변 지표면보다 평균 30 m 정도 낮은 마르 형태를 취하고 있으며, 그 내부에는 최대 약 15 m 두께의 퇴적층이 저지대에 집적되어 있다. 이러한 분화구 형태와 퇴적층의 존재는 상당기간 분화구에 담수 화구호나 습지가 형성되어 있었음을 지시한다.

현재 분화구 안은 대부분 경작지로 개발되어 있지만, 하능 화산체는 후기 단계의 제주도 화산활동사를 대표하는 지질유산의 하나로서 다음과 같이 세 가지 관점에서 국제적 혹은 국가적 수준의 지질학적 가치를 갖는다. 첫째, 하능은 국내에 유일한 마르형 화산체로서 화산지형학적으로 국가적 가치를 지닌 지질유산이다. 둘째, 하능 화산체는 세계적으로 탁월한 가치를 지닌 제주 화산섬의 지질유산 중에서도 특히 응회구-응회환-마르로 이어지는 수성화산체의 지형학적 스펙트럼을 확장함으로써 제주도 지질유산의 다양성 제고에 기여하고 있다. 마지막으로 하능 분화구 내부에 집적되어 있는 습지퇴적층은 고생물학적, 지화학적, 광물학적으로 다양한 고환경 지시자를 포함하고 있는 타임캡슐로서, 지난 3만년 이상의 제주도 및 동아시아 지역 고식생과 기후변화를 규명하는 데 중요한 국제적 가치를 지닌 지질유산이다.

현재 경작과 무분별한 개발로 인해 크게 훼손되어 있는 하능의 자연유산 가치를 높이고 친환경적 활용을 확대하기 위해서는 복원을 통해 지형과 생태환경의 자연성을 최대한 회복하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 먼저 유산가치와 완전성에 따라 보전을 위한 구역과 친환경적 이용이나 개발이 가능한 구역으로 차별화하여 복원과 활용을 추진한 후에 점차 보전구역과 친환경적 이용 구역을 확대하는 등의 단계적인 방안을 고려하여야 한다. 활용방안으로는 습지와 마르 화산체의 특성을 활용한 환경교육, 체험학습, 생태관찰 등의 교육활동과 지질·생태관광, 그리고 하능의 훼손과 복원 과정을 담은 문화역사관광, 지역주민을 위한 휴식공간 조성 등을 제안할 수 있다. 이와 함께 주변 지역의 지질유산과 관광 기반 시설 등과 연계한 지질공원의 지질명소군 지정, 사후관리를 위한 법제도적 보호장치 마련의 노력도 병행되어야 한다.

## 감사의 글

이 논문은 2016년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었다. 논문 심사과정에서 유익한 조언을 주신 우경식, 이성록 심사위원님과 이진용 편집위원장님께 깊은 감사를 드린다.

## REFERENCES

- Bardintzeff, J.-M. and McBirney, A., 2000, *Volcanology*. Jones and Bartlett Publishers, Boston, 268 p.
- Cho, J. and Woo, K.S., 2018, Proposal for legal protection of the geosties in National Geoparks in Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 237-256 (in Korean with English abstract).
- Fisher, R.V. and Schmincke, H.-U., 1984, *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 472 p.
- Hyun, S., Shin, K.H., Lee, S.C., Chang, S.W. and Nam, S.I., 2017, Terrestrial *n*-alkanes and their carbon isotope records from the Hanon paleo-maar sediment, Jeju Island, Korea: Implications for paleoclimate and paleovegetation over the last 35 kyrs. *Quaternary International*, 441, 89-100.
- Jeju Special Self-Governing Province, 2017, *The 3<sup>rd</sup> Jeju Global Geopark Management and Operation Plan (2018~2022)*. 78 p.

- Jeong, J.O., Yoon, S.H., Koh, G.W., Joe, Y.J., Hong, J.G. and Kim, J.J., 2016, Mineralogical and sedimentological characteristics of the U Formation underlying the volcanic strata in Jeju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 389-403 (in Korean with English abstract).
- Ju, S.O. and Woo, K.S., 2019, A new approach for the geological assessment for geoheritage conservation in Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 55, 149-163 (in Korean with English abstract).
- Kim, T.H., 2001, Volcanic topography and conservation of the Jeju Island. *Nature Conservation*, 114, 1-7 (in Korean with English abstract).
- Kitagawa, H., 2010, Maar sediments on Cheju Island as an achieve the past atmospheric circulations over East Asia. *The International Symposium for Conservation and Restoration of Hanon Crater (Abstracts)*, Jeju, November 26, p. 23-25.
- Koh, G.W., Park, J.B., Kang, B.R., Kim, G.P. and Moon, D.C., 2013, Volcanism in Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 209-230 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.H. and Yun, S.H., 2012, Morphological analysis of Quaternary monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 48, 383-400 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.H., 2004, East Asian Monsoon Variation during the Late Pleistocene to Holocene: Paleoclimate Changes Indicated by Proxy Records From Jeju Island, Korea. M.S. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea, 98 p.
- Lee, S.H., Lee, Y.I., Yoon, H.I. and Yoo, K.C., 2008, East Asian monsoon variation and climate changes in Jeju Island, Korea, during the latest Pleistocene to early Holocene. *Quaternary Research*, 70, 265-274.
- Lee, S.J., 2011, Utilization of the Hanon area for local community. *The 4<sup>th</sup> International Symposium on Restoration of Hanon Maar, Seogwipo, Jeju (Abstracts)*, Jeju, December 16, p. 33.
- Lim, J.S., 2011, Climate change reconstruction using wetland sediments: a case study in Jeju Island, Korea. *The 4<sup>th</sup> International Symposium on Restoration of Hanon Maar, Seogwipo, Jeju (Abstracts)*, Jeju, December 16, p. 31.
- Matsuoka, K., Kim, M.H., Takemura, K., Nagaoka, S. and Lee, J.B., 1995, Geologic age and facies of the boring core sediments from Cheju Island, Korea. *Natural Science*, 35, 135-145.
- Park, J., Lim, H.S., Lim, J. and Park, Y.H., 2014a, High-resolution multi-proxy evidence for millennial- and entennial-scale climate oscillations during the last deglaciation in Jeju Island, South Korea. *Quaternary Science Reviews*, 105, 112-125.
- Park, J., Lim, H.S., Lim, J., Yu, K.B. and Choi, J., 2014b, Orbital- and millennial-scale climate and vegetation changes between 32.5 and 6.9k cal a BP from Hanon Maar paleolake on Jeju Island, South Korea. *Journal of Quaternary Science*, 29, 570-580.
- Park, J. and Park, J., 2015, Pollen-based temperature reconstructions from Jeju island, South Korea and its implication for coastal climate of East Asia during the late Pleistocene and early Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 417, 445-457.
- Park, K.H., Cho, D.L., Kim, Y.B., Kim, J.C., Cho, B.W., Jang, Y.N., Lee, B.J., Lee, S.R., Son, B.K., Cheon, H.Y., Lee, H.Y. and Kim, Y.U., 2000, Geological of the Seogwipo-Hahyori Sheet (scale 1:50,000). Jeju Provincial Government, 163 p (in Korean).
- Park, K.H. *et al.*, 2003, Guidebook for a Geological Tour of Jeju Island. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, and Jeju Development Institute, 183 p (in Korean).
- Seogwipo City, 2004, Master Plan of the Hanon Eco Forest Restoration Project. 295 p (in Korean).
- Seogwipo City, 2014, Master Plan of the Hanon Crater Restoration. 317 p (in Korean).
- Sohn, Y.K., 1996, Hydrovolcanic processes forming basaltic tuffings and cones on Cheju Island, Korea. *Geological Society of America Bulletin*, 108, 1199-1211.
- Sohn, Y.K., 2010, Geodiversity and geoheritage values of hydromagmatic volcanoes in Jeju Island, Korea, a world-class showcase of basaltic hydrovolcanism. *The International Symposium for Conservation and Restoration of Hanon Crater (Abstracts)*, Jeju, November 26, p. 19-20.
- Sohn, Y.K., 2011, Examples of maar volcanoes worldwide and the implications for the restoration of the Hanon Crater. *The 4<sup>th</sup> International Symposium on Restoration of Hanon Maar, Seogwipo, Jeju (Abstracts)*, Jeju, December 16, p. 22.
- Sohn, Y.K., Park, J.B., Khim, B.K., Park, K.H. and Koh, G.W., 2002, Stratigraphy, petrochemistry and Quaternary depositional record of the Songaksan tuff ring, Jeju Island, Korea. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 119, 1-20.
- Wohletz, K.H. and Sheridan, M.F., 1983, Hydrovolcanic explosions II. Evolution of basaltic tuff rings and tuff cones. *American Journal of Sciences*, 283, 385-413.
- Woo, K.S., 2010, The Hanon Crater geosite: development for the promotion of geotourism. *The International Symposium for Conservation and Restoration of Hanon Crater (Abstracts)*, Jeju, November 26, p. 32-34.
- 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).
- Yatagai, S., Takemura, K., Naruse, T., Kitagawa, H., Fukusawa, H., Kim, M.H. and Yasuda, Y., 2002, Monsoon changes and eolian dust deposition over the past 30,000 years in Cheju Island, Korea. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, 23, 821-831.
- Yoon, S.H., 2004, Geological characteristics of Hanon volcano and its crater-lake deposit. *The International Symposium for Conservation and Restoration of Hanon Crater Wetland (Abstract)*, Jeju, February 11, p. 19-25.
- Yoon, S.H., Choo, K.H. and Park, Y.S., 2014, Comparative analysis of geomorphological and geological characteristics of small-scale volcanoes applicable to field guide for Jeju Island geohéritages. *Journal of the Geological Society of Korea*, 50, 133-150 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S.H., Lee, B.G. and Sohn, Y.K., 2006a, Geomorphic and geological characteristics and eruption process of the Hanon volcano, Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 19-30 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S.H., Yoon, H.I. and Lee, S.H., 2006b, Sedimentary characteristics of Hanon crater-lake deposit and implications for paleo-environmental changes. *Korean Journal of Plant and Environment*, 2, 19-28 (in Korean with English abstract).

---

Received : May 16, 2019  
 Revised : June 17, 2019  
 Accepted : June 18, 2019