

백악기 위도화산암 내 지질명소의 가치 평가

김용식¹ · 김민철² · 황인걸³ · 손 문² · 권창우^{1,*}

¹한국지질자원연구원 국토지질연구본부

²부산대학교 지질환경과학과

³한국지질자원연구원 석유해저연구본부

요 약

본 논문은 전라북도 부안군 위도면에 분포하는 위도화산암을 조사하여 국가지질공원의 지질명소로서의 가능성을 제언하고자 한다. 위도화산암은 백악기 안산암-유문암질 화산암류와 퇴적암으로 구성되며, 총 네 지점이 지질명소(지점 1-지점 4)로서 가능성을 보인다. 지점 1의 공룡알 화석이 나타나는 적색 이암 및 페퍼라이트(peperites), 지점 2의 유변성 화산력 응회암(rheomorphic lapilli tuff), 지점 3의 망령봉응회암 내 주상절리, 지점 4의 화산활동 이후 형성된 저층류 퇴적암(hyperpycnal flow deposits)에 대해 암상특성 기재와 해석을 하였으며, 지질명소로서 갖추어야 할 교육 및 학술 분야에 대해 평가하였다. 평가결과 네 지점은 희소성 혹은 전형성을 보여주고 있으며, 이들 지질명소는 화산활동 이전 및 동시기 그리고 휴지기 동안 형성된 지층이 모두 나타나는 다양성을 보여준다. 따라서 위도화산암은 지질명소로서 교육 및 학술적 가치를 보이며, 현재 추진되고 있는 고창-부안 국가지질공원 후보지에 지질명소로서 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다.

주요어: 위도화산암, 지질명소, 국가지질공원, 백악기 화산활동, 고창-부안

Yong Sik Gihm, Min-Cheol Kim, In Gul Hwang, Moon Son and Chang Woo Kwon, 2016, An assessment of geosites in the Cretaceous Wido Volcanics. Journal of the Geological Society of Korea. v. 52, no. 5, p. 623-637

ABSTRACT: The purpose of this paper is to suggest a possibility of the geosites of national geopark in the Cretaceous Wido Volcanics of Wi Island, Buan district. The volcanics consists of silicic to intermediated volcanic rocks and sedimentary rocks. We evaluate four geosites, such as reddish mudstone including dinosaur egg and peperite (Site 1), rheomorphic lapilli tuff (Site 2), columnar joints in welded lapilli tuff (Site 3), and volcanoclastic rocks deposited by hyperpycnal flows (Site 4). The geosites have rarity, typicality and diversity and provide an opportunity to understand a variety of volcanic and sedimentary processes during pre-, syn- and post-volcanic activities, suggesting that they have the educational and academic values and play an important role for a potential national geopark in Gochang-Buan districts.

Key words: Wido Volcanics, geosite, National Geopark, cretaceous volcanism, Gochang-Buan

(Yong Sik Gihm and Chang Woo Kwon, Geological Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea; Min-Cheol Kim and Moon Son, Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea; In Gul Hwang, Petroleum and Marine Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea)

1. 서 언

국가지질공원은 지구과학적으로 중요하고 경관이 우수한 지역으로 보존과 더불어 교육, 관광 사업에 활용하기 위해 환경부장관이 인증한 공원이자 (National Geoparks of Korea, 2016). 따라서 지질

공원은 지질학적 가치를 지니는 지질명소와 함께 지역의 문화적, 자연적 요소를 포함하며, 보호를 위한 접근 혹은 재산권의 행사가 제한되는 여타 보호구역과 달리 특정 지질명소 외에는 경제행위 및 재산권 사용에 대한 제한이 적다(Lee *et al.*, 2012; Woo, 2014). 또한 국가지질공원으로의 인증은 관광객들의 유입

* Corresponding author: +82-42-868-3075, E-mail: cwkwon@kigam.re.kr

에 따른 지역경제 활성화를 통해 지역주민의 소득을 증대시킬 수 있기 때문에 여러 지방자치단체에서 국가 지질공원으로 인증받기 위한 노력을 하고 있다(National Geoparks of Korea, 2016).

전라북도 부안군 위도면에 분포하는 위도화산암

은 후기 백악기 화산활동에 의해 형성된 화산암체의 잔여물로, 하위로부터 대리안산암, 망령봉응회암, 벌금리층(호수퇴적층), 탄달래응회암 그리고 이들을 관입하고 있는 유문암으로 구성된다(Koh *et al.*, 2013). 이러한 화산암류 퇴적암(벌금리층)의 수직변화는 백

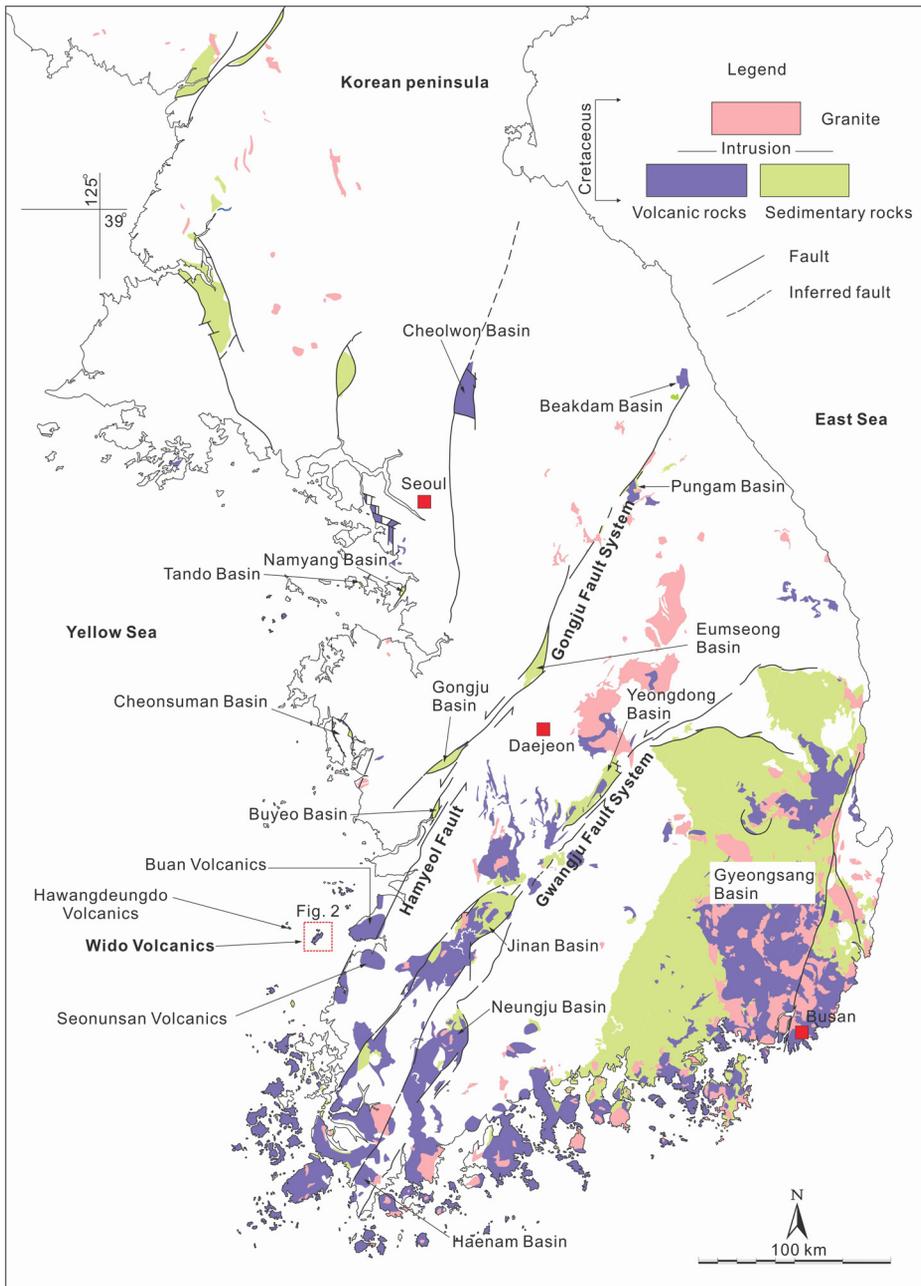


Fig. 1. Distribution map of the Cretaceous sedimentary and volcanic-igneous rocks in the Korean Peninsula (modified from Ko *et al.*, 2015).

악기 화산활동에 의해 형성된 다양한 화산암류 뿐만 아니라 화산활동 휴지기에 형성된 퇴적암의 퇴적과정을 한곳에서 볼 수 있는 교육장소로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 위도화산암은 한반도 백악기 화산-퇴적시스템의 화산-퇴적작용에 대한 중요한 기초 자료를 제공할 뿐만 아니라, 지질명소로서 훌륭한 가능성과 가치를 제공해 줄 수 있을 것으로 보인다. 본 논문에서는 위도화산암내에 지질유산으로서의 가치(대표성, 희소성, 다양성, 전형성)가 있는 지질명소 4곳을 선정하고, 각 지점의 암상특징을 기재하고 형성기작을 해석하였다. 아울러 Sagong and Lee (2014)가 제안한 지질노두 평가표를 바탕으로 위도화산암의 교육 및 학술적 가치를 평가해 지질명소로서의 가능성을 논의하였다.

2. 지질개요

백악기동안 한반도가 위치한 유라시아판(Eurasian Plate)의 북동부는 사카섬입하는 고태평양판(이자나기판: Izanagi Plate)의 영향으로 활발한 대륙 화산호활동(continental arc volcanism)과 함께 광범위한 좌수향 주향이동 구조운동으로 북동-남서 혹은 북북동-남남서 방향의 주향이동 단층계(광주단층계, 공주단층계, 추가령단층계)가 발달하였다(Chun and Chough, 1995; Chough *et al.*, 2000). 그 결과 단층계를 따라 다양한 크기와 모양의 육성퇴적분지(nonmarine sedimentary basin) 및 다량의 화강암류와 화산암류가 형성되었다(그림 1; Chough and Sohn, 2010; Kim *et al.*, 2012; Ryang, 2013). 한반도 중서부(부안-법성포)에는 화산암류 및 퇴적암들이 좌수향 주향이동단층을 따라 타원형 내지 원형의 독립적인 산악지형을 형성하고 있다. 최근 이들 화산암체들에 대한 지질도작성 결과, 각각의 화산암류와 퇴적암이 화산암체를 형성하며, 독립적인 분포양상 및 서로 다른 암상구성을 보이는 이들 화산암체를 크게 4개의 독립적인 화산암(부안화산암, 선운산화산암, 위도화산암, 허왕등도화산암)으로 구분하였다(그림 1; Koh *et al.*, 2013).

벼룩(flea) 형태를 보이는 위도화산암은 부안화산암에서 서쪽으로 약 13 km 떨어진 서해에 위치하고 있으며, 북동-남서 방향으로 최대길이 약 8 km 그리고 북서-남동 방향으로 최단길이 약 4 km에 이른다.

Koh *et al.* (2013)은 위도화산암을 구성하고 있는 다양한 화산암류와 퇴적암에 대해 암석 유형(표생쇄설암 대 화성쇄설암), 화산분출 유형(폭발적인 화산분출 대 비폭발적 화산분출), 구성하고 있는 광물과 암편의 조합, 산상 등을 근거로 하위에서부터 대리안산암, 망령봉응회암, 벌금리층, 탄팔래응회암으로 구분하였다. 각 층들은 정합이며, 기반암은 관찰되지 않는다(그림 2와 3).

3. 위도화산암의 층서

3.1 대리안산암

위도화산암의 노출된 지층 중 최하부인 대리안산암은 위도의 남동 해안가를 따라 분포하며(그림 2와 3), 적색 이암층 및 역암층을 협재하는 안산암으로 대표된다(그림 4a). 안산암은 암청색 혹은 자색을 띠며, 2 cm 미만의 사장석 반정이 미정질 석기(groundmass)에 포함된 반상조직을 보인다. 대리안산암은 수 매의 분출단위로 구성되어 있는데, 각각의 안산암 분출단위는 1 m 에서 수십 m 의 두께로 나타난다. 분출단위는 안산암 하부에서 나타나는 유동구조(flow banding) 및 상-하부에서 산출되는 자가력층(autobreccia layer)에 의해 인지 할 수 있으며, 이상의 특징은 대리안산암은 안산암질 용암이 지표를 따라 흘러 형성된 것으로 해석된다(Cas and Wright, 1987). 석금 및 살막금 인근에서는 약 250 m 두께로 나타나며, 남서쪽에서 북동쪽으로 갈수록 두께가 감소한다(그림 2).

3.2 망령봉응회암

위도화산암의 대부분을 차지하는 망령봉응회암은 유문암질 화산력응회암 및 응회암으로 구성되며, 두께는 최대 600 m로 추정된다(그림 3과 4b~4e). 망령봉응회암은 중립질 화산회(medium ash)에서 조립질 화산력(coarse lapilli) 크기의 부석편, 결정편(석영, 사장석, 알칼리장석) 그리고 암편(유문암, 안산암, 응회암)들이 세립의 화산회 기질에 지지되어 있으며, 부석편과 화산회는 측방으로 신장되어 용결조직을 보여준다. 대리안산암 직상부의 망령봉응회암은 2 m 내외의 파동층리 혹은 수평층리가 발달하는 층상의 화산력 응회암이 우세하게 나타나는 반면(그림 4b), 상위로 갈수록(안산암으로부터 약 150 m

상부) 50 m 이상의 수직절벽에서도 퇴적단위를 구분할 수 없을 정도로 두꺼운 괴상의 용결응회암이 발달한다(그림 4c와 4d). 위도해수욕장 인근, 괴상의 망령봉응회암에서 분리한 저어콘의 SHRIMP $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 가중평균연대는 85.7 ± 2.9 Ma로, 망령봉응회암의 형성시기는 후기 백악기(Campanian) 임을 지시한다(Koh *et al.*, 2013). 용결조직을 갖는 층상에서 괴상의 두꺼

운(두께 50 m 이상) 화산력 응회암은 뜨거운 화성쇄설성 밀도류(pyroclastic density current)에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(Branney and Kokelaar, 2002).

위도 북부해안에 분포하는 망령봉응회암의 최상부는 두께 약 50 m의 응회질퇴적암이 나타난다(그림 3). 이 응회질퇴적암은 두께 2 m 미만의 응회질 역질 사암 및 사암으로 구성되며, 하위 괴상의 용결응회암

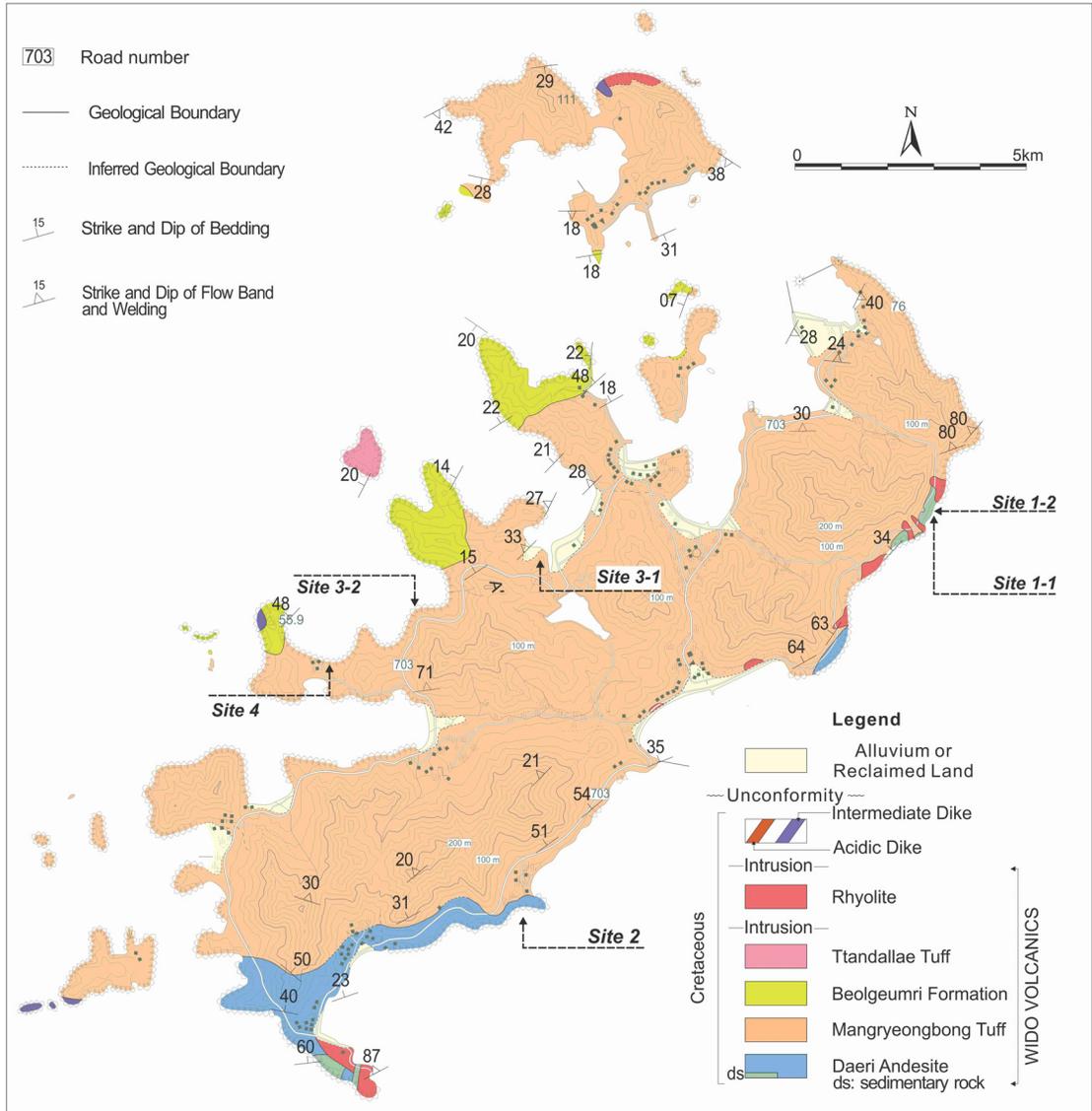


Fig. 2. Geological map of the Wido Volcanics in Wido (modified from Koh *et al.*, 2013). The Wido Volcanics is composed of the Daeri Andesite, the Mangryeongbong Tuff, the Beolgeumri Formation, and the Ttandallae Tuff in ascending order. The outcrop sites are composed of dinosaur egg-bearing homogeneous reddish mudstones with peperites (Site 1), rheomorphic lapilli tuff (Site 2), columnar joints in welded lapilli tuff (Site 3), and hyperpycnal flow deposits (Site 4).

에 비해 분급이 양호하고, 기질내에 결정편을 관찰하기 어렵다. 점이층리 및 평행층리와 같은 퇴적구조를 쉽게 관찰할 수 있으며, 측방으로 15 m 이상 연장된다(그림 4e). Gihm and Hwang (2016)은 상대적으로 양호한 분급, 퇴적구조의 발달 및 우수한 측방연장성을 바탕으로 이 응회질퇴적암을 호수 내 중력류 퇴적체로 해석하였다.

3.3 벌금리층

위도의 북부 해안가를 따라 분포하는 벌금리층은 쇄설성퇴적암으로 두께는 약 100 m 이상으로 추정된다(Gihm and Hwang, 2014). 벌금리층은 주로 수 mm 에서 2 cm 내외의 흑색세일 혹은 이암-사암 호층으로 구성되며, 점이층리가 발달하는 두께 3 m

미만의 역질 사암 및 사암이 협재되어 있다(그림 3). 또한 두께 10 m 미만의 (화산력)응회암이 다양한 층수에 협재되어 있다. 각각의 퇴적층은 뚜렷한 하부 경계를 갖고 횡적으로 잘 연장된다(그림 4f). Gihm and Hwang (2014)는 측방연장성이 우수한 흑색세일을 호수 내 부유퇴적물의 침전으로, 이암-사암 호층 및 점이층리가 잘 발달하는 역질 사암 및 사암은 저밀도 및 고밀도 저탁류로 각각 해석하였다. 또한 화산력응회암은 호수로 유입된 화성쇄설성 밀도류에 의해 퇴적된 것으로 해석하였다(Gihm and Hwang, 2014).

3.4 탄달래응회암

위도화산암의 최상부 지층인 탄달래응회암은 위

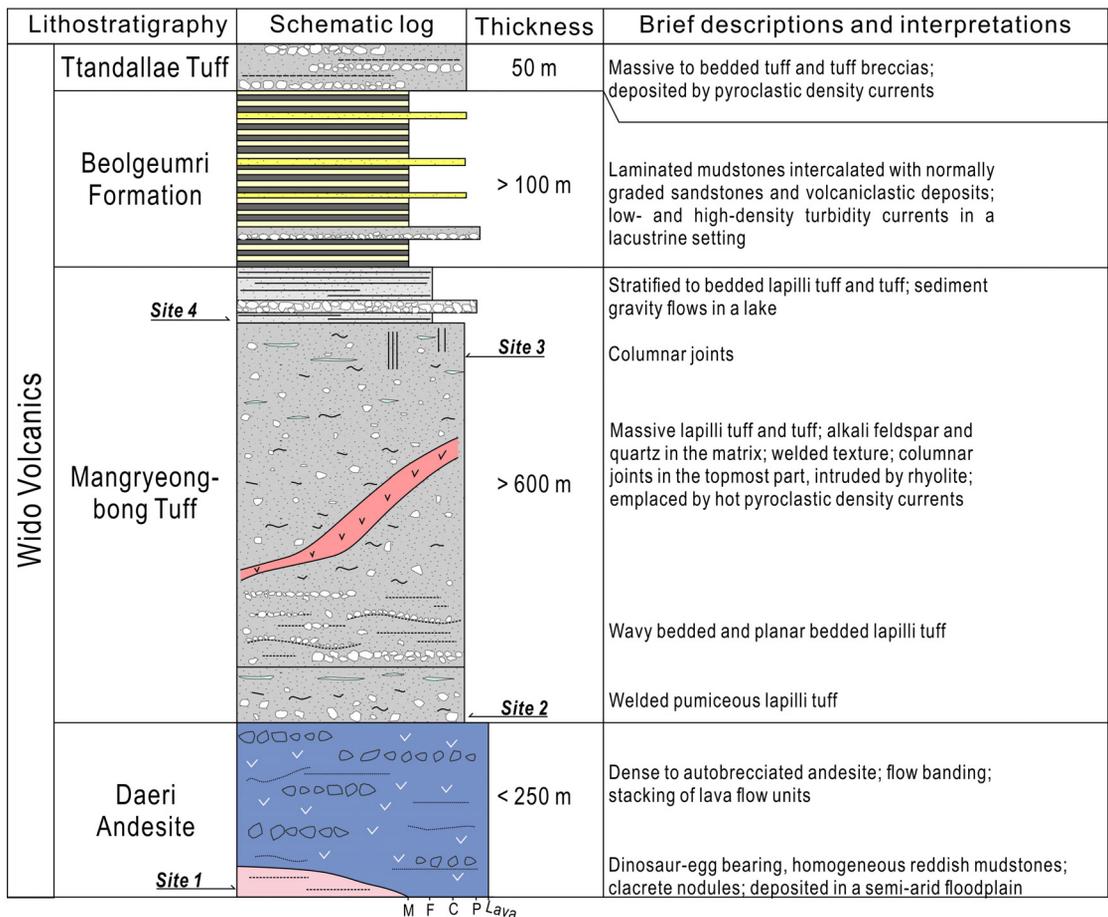


Fig. 3. Schematic log and brief descriptions and interpretations of the Wido Volcanics (modified from Gihm and Hwang (2014)).

도의 북서부에 위치한 판달래섬에 독립적으로 분포하며, 응회각력암과 (화산력)응회암으로 구성되어 있다. 판달래응회암은 조립 화산회에서 최대 직경 약 1

m의 분급이 불량한 암편(유문암, 안산암, 용결응회암) 및 부서편이 입자지지 혹은 세립의 화산회 기질에 지지되어 있으며, 사장석 및 정장석 결정편이 기

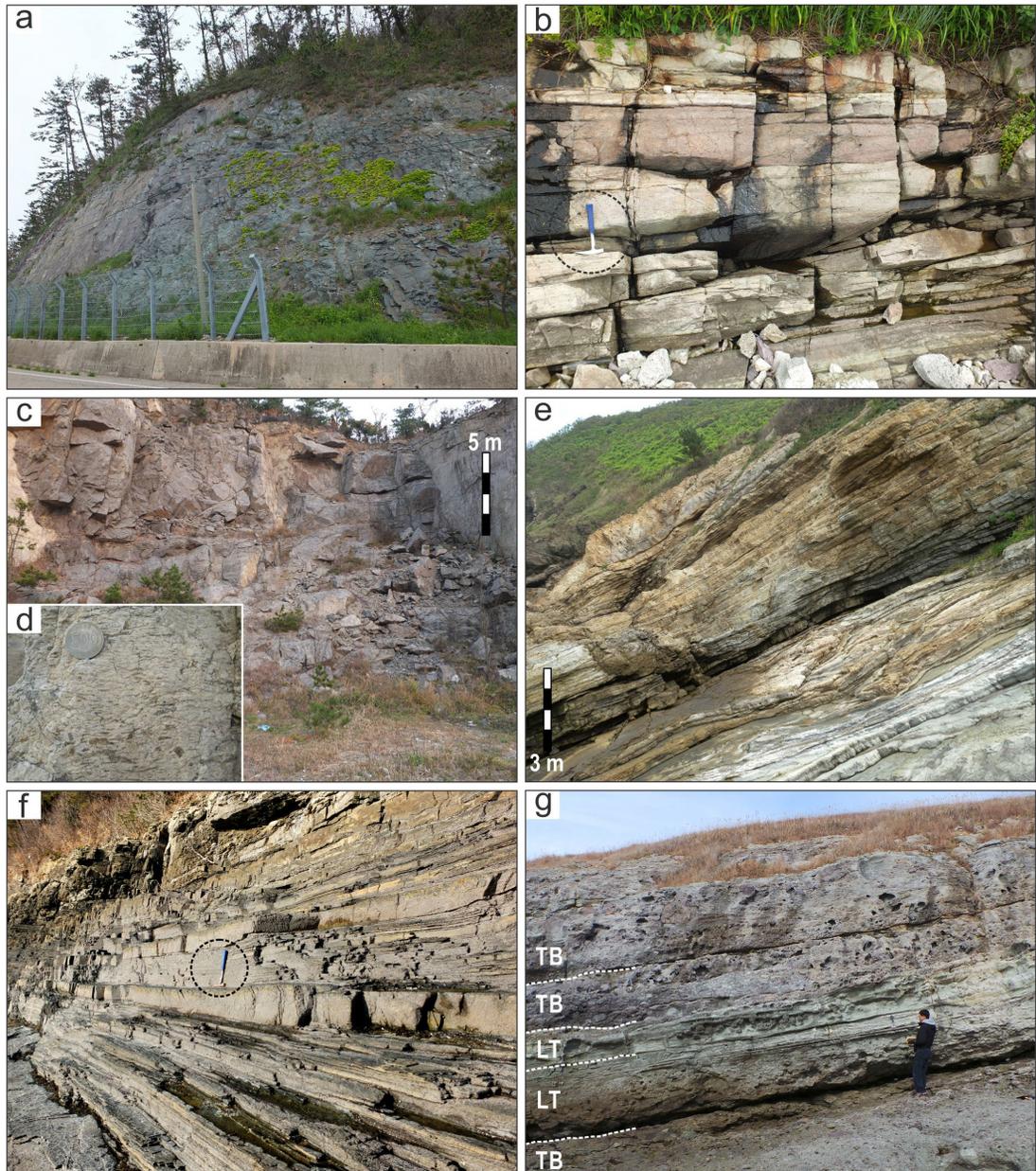


Fig. 4. Outcrop photographs of the Wido Volcanics. (a) Andesite in the Daeri Andesite. (b) Stratified (lapilli) tuff in the lower part of the Mangryeongbong Tuff. (c) Middle part of the Mangryeongbong Tuff. (d) A welded texture within the Mangryeongbong Tuff. (e) Well bedded lapilli tuff and tuff in the upper part of the Mangryeongbong Tuff. (f) Alternating layers of the laminated mudstones and normally graded sandstones in the Beolgeumri Formation. (g) Bedded tuff breccias (TB) and lapilli tuff (LT) in the Ttandallae Tuff.

질내에 관찰된다. 탄탈래응회암의 층리는 응회각력암과 (화산력)응회암의 호층에 의해 인지되는데(그림 4g), 각각의 층들은 수십 cm에서 수 m까지 다양한 두께 변화를 보여주나 측방으로의 층 두께는 거의 변하지 않고 연장성이 좋다. 각 층의 하부 경계는

뚜렷하고 편평하며 일부 지점에서는 약간 침식되어 있다. 전반적으로 층리가 발달한 특징 및 하부의 뚜렷하거나 약한 침식면은 탄탈래응회암이 난류성의 화성쇄설성 밀도류에 의해 퇴적된 것으로 해석된다 (Jeong *et al.*, 2006).

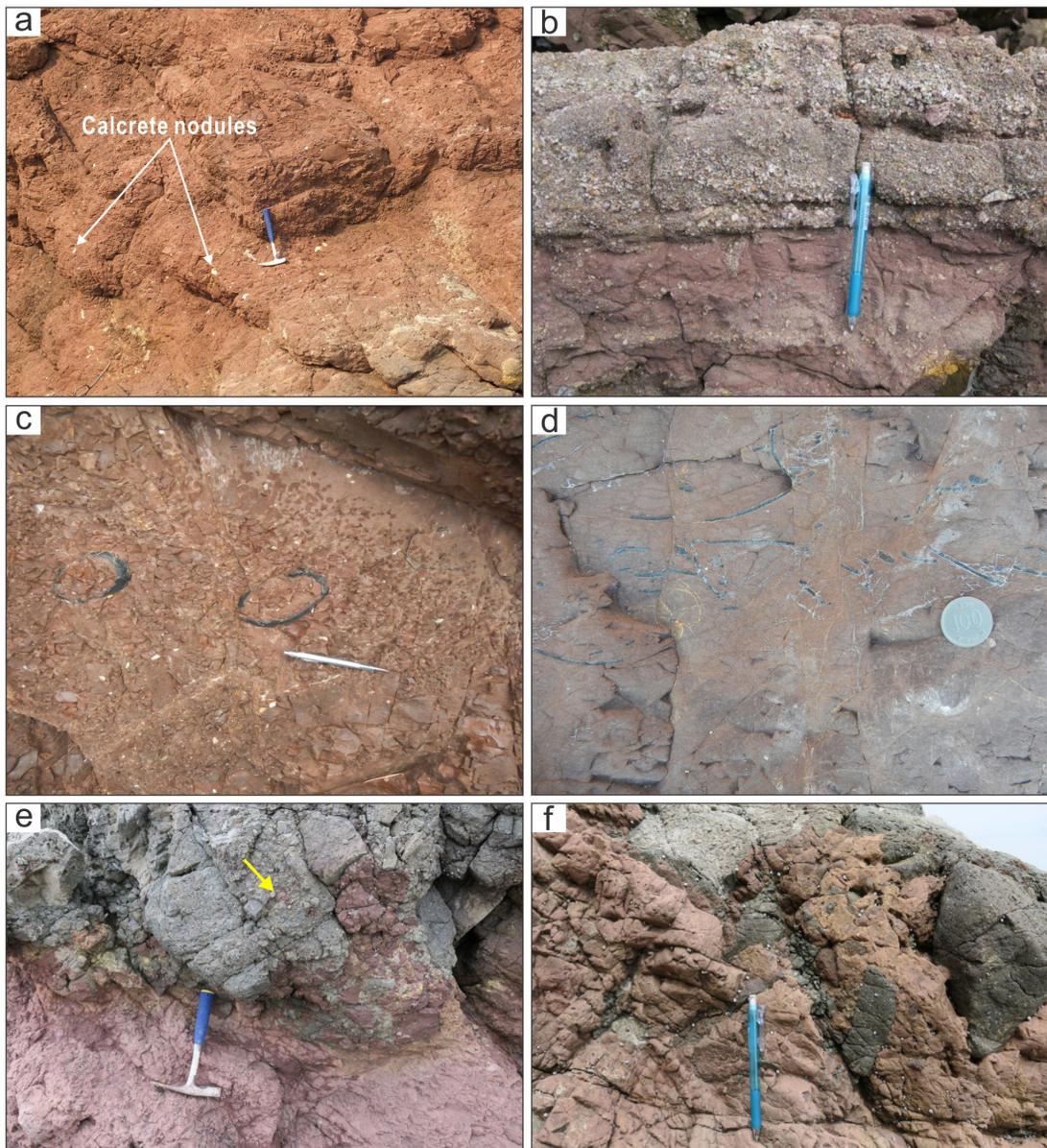


Fig. 5. Outcrop photographs of the Site 1-1 (a to d) and 1-2 (e and f). (a) Reddish mudstones with scattered calcrete nodules. (b) Normally graded gravelly sandstones within the reddish mudstones showing flat and slightly erosive basal contact. (c) and (d) Dinosaur eggs in the reddish mudstones. (e) Irregular margin between the reddish mudstones and intermediate dike with peperite texture. Note pod of the reddish mudstones within the intermediate dike (indicated by arrow). (f) Mixture of reddish mudstones and dike fragments, representing dispersed peperite texture.

4. 위도화산암 내 지질명소의 특징

4.1 지점 1

4.1.1 지점 1-1: 공룡알 화석을 포함하는 적색 이암

기재: 이 지점은 공룡알 화석과 석회단괴를 포함하고 있는 적색 이암을 관찰할 수 있다. 적색 이암의 두께는 10 m 이상이며, 측방으로 약 200 m 연장된다. 적색 이암은 실트 및 점토로 구성되고 괴상의 퇴적상을 보이며 내부에는 석회단괴가 불규칙하게 분포한다(그림 5a). 적색 이암 내에는 두께 1 m 미만의 역질 사암과 사암이 협재되어 있으며, 이들 하부 경계는 뚜렷하고 편평하거나 침식경계를 보인다. 또한 정점이층리가 관찰되기도 한다(그림 5b). 역질 사암은 원형에서 아원형의 형태를 보이는 왕모래에서 잔자갈 크기의 화강암, 편암, 편마암 그리고 안산암편

들이 사질기질에 지지되어 있다. 적색 이암 내의 공룡알 화석은 흑색의 타원형으로 산출되는데, 최소 10개 이상의 공룡알 화석을 관찰할 수 있다(그림 5c와 5d). 장축의 길이는 약 10 cm 이내이며, 분절되거나 원형을 유지한 상태로 나타난다. 이 공룡알 화석은 대체로 적색 이암 내에 수직, 수평적으로 불규칙하게 나타나나, 특정 층준에서 3개 이상 밀집하여 나타나기도 한다.

해석: 괴상이며 세립의 실트 및 점토로 구성된 적색 이암은 범람원환경에서 홍수류 내에 뜬짐으로 이동하던 세립의 퇴적물이 홍수류의 유속이 약해지는 과정에서 빠르게 침전하여 퇴적된 것으로 해석된다(Kim *et al.*, 2009). 적색 이암 내의 석회단괴는 층적 평면에서의 퇴적작용이 활발하지 않은 기간 동안 토양화작용을 받았고, 퇴적 당시의 이 지역이 건조

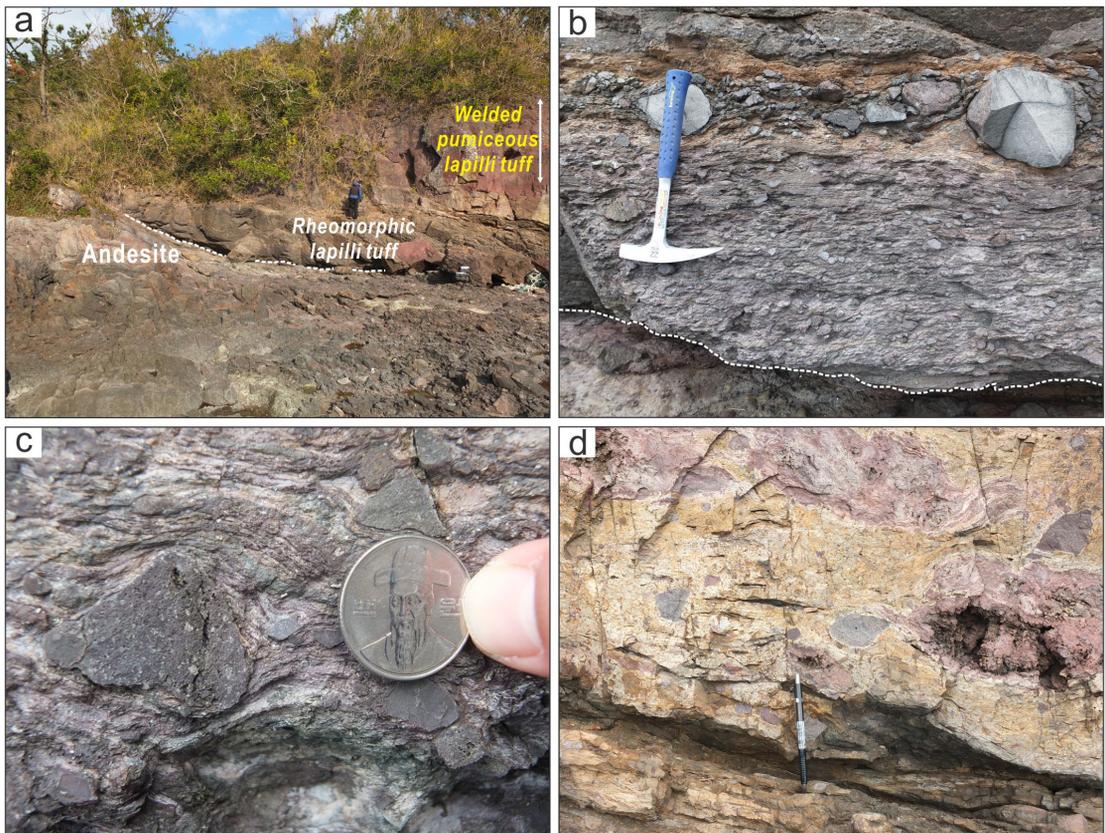


Fig. 6. Photographs of the Site 2. (a) The inclined boundary between andesite and rheomorphic lapilli tuff. Note lateral changes in dip angle of the boundary (high (left) to low (right)). (b) Close-up view of rheomorphic lapilli tuff. Note flow structure parallel to the lower boundary (dashed line). (c) Bended vitric matrix around the lithic fragment. (d) Warped or convoluted flow structures in the upper part of the rheomorphic lapilli tuff.

또는 아건조한 기후였음을 지시한다. 이암 내에 협재된 역질 사암 및 사암은 조립질 퇴적물의 운반이 가능한 상대적으로 큰 규모의 홍수류(e.g., 판류)에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(North and Davison, 2012). 역질 사암을 구성하는 암편이 주로 기반암(화강암, 편암, 편마암)으로 구성된 점은 적색 이암이 화산활동이 활발하기 이전 또는 화산활동 초기에 형성된 퇴적계에서 퇴적되었음을 유추케 한다. 적색 이암 내에 산출되는 공룡알 화석은 충적평원내 형성된 공룡 동지 내 알들이 홍수기 때 운반되어 퇴적된 것으로 해석되며, 이러한 화석의 증거는 백악기 당시 이 지역 일대에 공룡들이 서식지를 형성하였음을 추정케 한다.

4.1.2 지점 1-2: 중성암맥과 적색 이암 경계의 페퍼라이트

기재: 이 지점은 적색 이암과 중성암맥의 관입경계와 그 경계부를 따라 산출되는 페퍼라이트를 관찰할 수 있다. 중성암맥은 폭 2 m 미만으로, 이암의 층리를 아수직 내지 수직으로 가로지르고 있다. 중성암맥의 내부에는 직경이 0.2 m 미만의 이암편이 포획암처럼 산출되기도 한다(그림 5e). 중성암맥과 적색 이암의 경계부에는 중성암맥편이 적색 이암과 뒤섞여 만들어진 페퍼라이트가 관찰된다. 화산력 크기의 암맥편은 각형 내지 아각형이며, 이 암맥편의 상대적 분포에 따라 밀집형(packed)과 분산형(dispersed)의 페퍼라이트로 구분된다(그림 5e와 5f; Hanson and Wilson, 1993; Skilling *et al.*, 2002).

해석: 적색 이암과 중성암맥의 경계에 발달하는 페퍼라이트는 관입 당시, 중성암맥을 형성한 마그마가 미고화되고 물을 포함한 적색 이암과 격렬하게 반응하였음을 의미한다. 밀집형 페퍼라이트는 두 암상의 경계부에서 급격한 열손실에 의해 마그마가 급냉되고 깨지면서(quenching fragmentation) 형성되었음을 지시하며(Kokelaar, 1986; Busby-Spera and White, 1987; Hanson and Wilson, 1993; McPhie *et al.*, 1993; Skilling *et al.*, 2002; Martin and Németh, 2007), 분산형 페퍼라이트는 암맥내부로의 반복적인 마그마 공급으로 이전에 고화된 마그마가 경계에서 이탈함에 따라 형성된 것으로 해석된다(Goto and McPhie, 1996). 불규칙한 중성암맥의 경계 및 내부에서 나타나는 고립된 적색 이암은 관입 당시 미고화된 적색이암을 구성하는 세립의 실트 및 점토가 유체화 되어 암맥을 형성한 마그마와 뒤섞여 형성된 것으로 해석된다(Kokelaar, 1982).

4.2 지점 2: 유변성 화산력응회암(rheomorphic lapilli tuff)

기재: 이 지점은 대리안산암과 망령봉응회암의 직접경계부로, 두 암상간의 경계부 특징과 망령봉응회암 최하부에 관찰되는 유변성 화산력응회암을 관찰할 수 있다(그림 6a). 대리안산암에 의해 형성된 지형적 기복에 의해 두 암상 간 경계는 측방으로 고각에서 저각으로의 변화하는 양상을 보이며, 특히 고각의 경계부를 따라 망령봉응회암 하부에 유변성 조직(최대 두께 약 4 m)이 잘 관찰된다(그림 6a). 유변

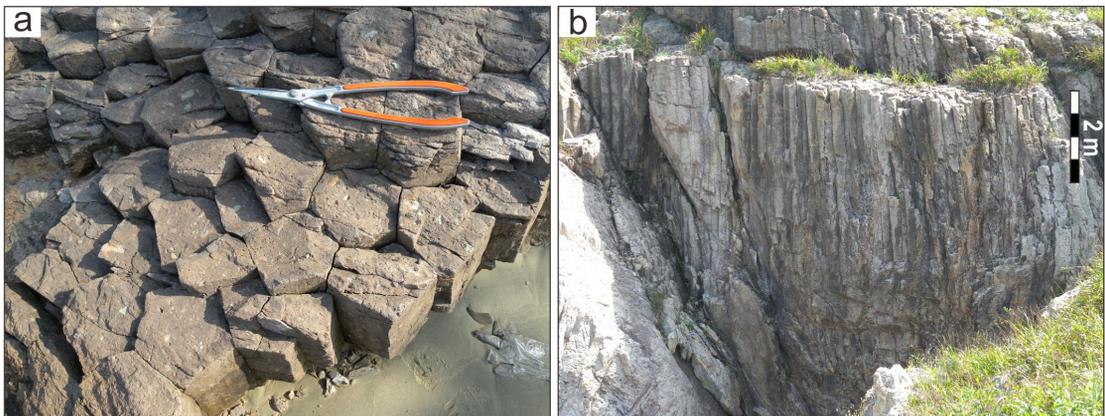


Fig. 7. (a) Planar (Site 3-1) and (b) vertical (Site 3-2) views of the columnar joints in the Mangryeongbong Tuff.

성 조직이 발달한 유변성 화산력응회암은 상부로 갈수록 암편의 크기 및 함량이 줄어들고 동시에 부석의 함량이 점차 증가하여 함부석 화산력 용결응회암(welded pumiceous lapilli tuff)으로 점이적으로 변화한다(그림 6a).

유변성 화산력응회암은 중립질 화산회에서 암괴 크기의 암편(주로 안산암편) 및 결정편(정장석)이 세립의 화산회 기질에 지지되어 있으며, 분급은 불량하다(그림 6b). 주로 과상이나 암편이 풍부하구간에서는 층리가 관찰되기도 하나, 측방으로 침멸하는 양상을 보인다(그림 6b). 기질을 이루는 세립의 화산회는 암편의 상-하부에서 휘어져 나타난다(그림 6c). 유변성 화산력응회암의 하부는 세립의 화산회 기질이 하부경계와 평행하게 배열한 유동구조(flow structure)를 이루고 있는 반면(그림 6b), 상부로 갈수록 점차 불규칙하며 휘어지고 말린 유동구조를 보인다(그림 6d).

해석: 유변성 조직을 보이는 화산력응회암은 뜨거운 화성쇄설성 밀도류에 의해 퇴적되었음을 지시하며(Branney and Kokelaar, 2002), 과상이며 분급이 불량한 특징은 유변성 화산력응회암을 퇴적한 화성쇄설성 밀도류의 퇴적물이 매우 높았음을 의미한다(Druitt, 1995). 높은 퇴적률에 의해 화산쇄설물의 열은 보존될 수 있었고, 고온의 유리질 화산회로 구성된 기질은 연성을 띠게 되었다(Branney and Kokelaar, 2002; Andrew and Branney, 2011). 이후 화성쇄설물의 퇴적이 지속됨에 따라 그 두께가 점차 증가하게 되고 이미 퇴적된 화성쇄설물 하부에 가해지는 하중은 점차 증가하게 된다. 그 결과 고정사진 화성쇄설물의 하부 경계는 전단강도(shear stress)가 항복강도(yield stress)를 넘어섬에 따라 경사면을 따라 이동할 수 있게 되어(Branney and Kokelaar, 1994), 하부 경계와 평행하게 방향성을 띠며 선형으로 배열되는 유동구조가 응회암내에 발달한 것으로 해석된다(Brown and Bell, 2013).

4.3 지점 3: 망령봉응회암 내 주상절리

[3-1(위도해수욕장)과 3-2지점(북부해안절벽)]

기재: 망령봉응회암 내 주상절리는 위도해수욕장 인근(3-1지점)과 북부해안절벽(3-2지점)에서 관찰된다(그림 7). 주상절리는 직경 0.2 m 내외의 오각형에서 육각형의 형태이며 절리 간 간격은 매우 좁다(그

림 7a). 위도 해수욕장인근에서는 주상절리의 하부를 해빈모래가 피복하고 있어 수직 연장성을 확인할 수 없으나, 북부해안절벽에서는 수직으로 5 m 이상 연장되며 컬러네이드(colonnade) 형태를 보인다(그림 7b; Spry, 1962).

해석: 망령봉응회암에 발달하는 주상절리는 화성쇄설성 밀도류에 의해 화성쇄설물이 퇴적되고, 그 뜨거운 화성쇄설물이 시간이 흐름에 따라 냉각과 수축에 의해 형성된 결과로 해석할 수 있다(Hwang, 2007). 수축으로 인한 체적감소에 의해 냉각면에서는 다각형의 절리가 형성되었고, 이 절리가 냉각면에 수직으로 연장됨에 따라 컬러네이드 형태를 띠게 된 것으로 보인다(Budkewitsch and Robin, 1994).

4.4 지점 4: 망령봉응회암의 저층류 퇴적암(hyperpycnal flow deposits)

기재: 지점 4에서는 망령봉응회암 상위의 응회질 퇴적암을 관찰할 수 있다(그림 8a). 이 퇴적층은 두께가 약 3.5 m로, 층상의 응회질 퇴적암(두께 <0.25 m)이 뚜렷하고 편평한 하부경계를 보이며 중첩되어 나타난다. 수직적인 입도변화에 의해 단일의 응회질 퇴적암 층은 하부에서 상부로 역점이-정점이층리를 보이는 것이 특징이다(그림 8b와 8c). 역점이층리 구간(두께: 2~15 cm)은 극세립사에서 세립사의 평행엽리를 이루는 응회질 퇴적물로 구성되며, 극세립사에서 세립사로 입도가 증가함과 동시에 평행엽리의 두께 또한 증가한다. 이러한 평행엽리는 상부로 갈수록 점이적으로 혹은 내부침식면의 발달과 함께 점이층리 구간(두께: 1~10 cm)으로 변화한다(그림 8b와 8c). 점이층리 구간의 최하부는 분급이 불량하고 과상인 조립사에서 왕모래 크기의 암편 및 부석이 중립사크기의 응회질 퇴적물에 의해 지지되어 있다(그림 8d). 상부로 갈수록 암편 및 부석의 함량이 줄어들고 입자의 크기가 중립사에서 세립사 혹은 극세립사로 감소하며 평행엽리가 재 발달한다(그림 8c).

해석: 역점이-정점이 층리, 상, 하부 구간에 나타나는 엽리 및 내부침식면은 이 응회질 퇴적암이 저층류(hyperpycnal flow)에 의해 퇴적되었음을 지시한다(Mulder *et al.*, 2003; Gihm and Hwang, 2016). 화산력 용결응회암(망령봉응회암)을 형성한 폭발적인 화산분출 이후, 미고화된 화성쇄설물은 지표를 피복하게 된다. 낮은 유체투과도를 갖는 분급이 불

량한 화성쇄설물은 강수 시 빗물이 지하로 스며들기 보다는 지표면을 따라 흐르게 되어 다량의 화성쇄설물을 포함하는 고농도 홍수류를 쉽게 만들게 된다 (Smith, 1991; Manville *et al.*, 2009). 이러한 고농도 홍수류가 호수로 유입되면 높은 밀도에 의해 호수의 기저면을 따라 이동하게 되어 저층류가 발생, 응회질 퇴적암을 형성할 수 있었다(Gihm and Hwang, 2014). 이러한 저층류는 시간에 따른 홍수류의 유출량(discharge) 변화에 따라 운반할 수 있는 입자의 크기변화를 야기해 단일 층(bed)내에 역점-정점 이층리가 발달할 수 있게 되었다(Zavala *et al.*, 2006). 또한 유속이 최대인 시점에서는 이전에 퇴적된 응회질 퇴적물이 침식됨에 따라 저층류 퇴적암의 내부침식면을 형성한 것으로 해석하였다(Mulder *et al.*, 2003; Gihm and Hwang, 2016).

5. 위도화산암 지질명소의 지질학적 가치와 가능성

지질명소는 중요한 지질학적 현상을 보여주는 지역으로, 지질명소를 객관적으로 확인하고 평가하는 기준이 필요하다. 최근 한국암석학회와 한국환경정책평가원에서 지질노두의 학술 및 교육분야, 지형 및 경관분야, 노두 보존상태, 관리상태를 지질명소의 주요 평가 기준으로 제시하였다(Sagong and Lee, 2014). 학술 및 교육분야는 다시 대표성, 희소성, 다양성, 전형성을 기준으로 평가하며, 지형 및 경관분야는 특이성, 심미성, 자연성을 바탕으로, 노두보존상태는 규모 및 신선도, 관리상태는 관리현황과 접근성을 각각 기준으로 하여 평가하되(부록 1 참조), 이 중 노두 보존상태 및 관리상태는 종합평가 시 참

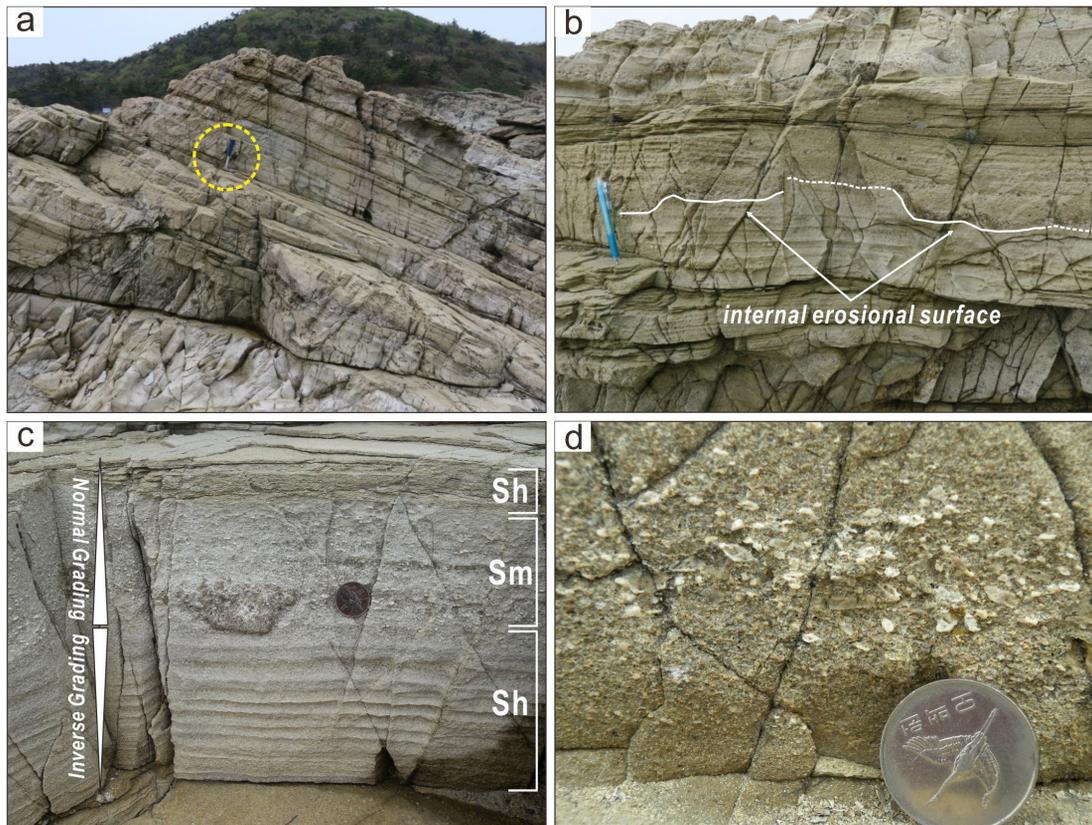


Fig. 8. (a) Outcrop photograph of the hyperpycnal flow deposits (Site 4). (b) Internal erosional surface within the bed of the hyperpycnal flow deposits. (c) Vertical changes in grain size and sedimentary structures [plane laminated sandstone (Sh) → massive sandstone (Sm) → plane laminated sandstone (Sh)] within the bed of the hyperpycnal flow deposits. (d) Large amounts of coarse ash to lapilli sized pumices in the bed of the hyperpycnal flow deposits.

고자료로 사용한다(Sagong and Lee, 2014). 이러한 기준을 바탕으로 절대보존 권고지역에서 보존가치가 낮은 지질노두까지 다섯 단계로 종합평가를 진행한다(Sagong and Lee, 2014). 본 논문의 성격에 맞게끔 본문에서는 학술 및 교육 분야에 대하여만 평가하도록 하며, 상대적으로 판단기준이 주관적인 지형 및 경관분야 및 참고사항으로 활용되는 노두보존상태 및 관리상태에 대한 평가는 부록 1에 요약하였다.

최근 조사결과에 따르면, 한반도 남서부 지역에는 후기 백악기동안 활발한 화산활동에 의해 형성된 유문암질 화산암체가 다수 분포하고 있다(Choi and Hwang, 2013; Koh *et al.*, 2013; Kwon *et al.*, 2015). 이러한 화산암체 중 하나인 위도화산암은 안산암질-유문암질 화산암류와 쇄설성퇴적암으로 구성되어 있는데, 이러한 지질학적 특성은 위도화산암이 후기 백악기 한반도의 중서부에 발달한 화산-퇴적시스템의 지질학적 특징을 잘 보여줄 수 있을 것으로 평가할 수 있다. 지질명소 지점 1-1의 적색 이암 및 이와 교호하는 역질 사암은 충적평원에 발달했던 홍수류의 뜬짐 및 밀짐이 유속의 변동에 따라 퇴적되어 형성되었으며, 이를 통해 퇴적물 중력류(sedimentary gravity flow)의 특성을 학습하고 관찰할 수 있는 야외실험장으로서 지질학적 가치를 지니는 것으로 판단된다. 아울러 적색 이암 내의 석회 단괴와 공룡알 화석은 당시 충적평원에서 토양화 작용과 백악기 공룡들이 살았던 퇴적환경을 관찰하고 학습할 수 있을 것으로 판단된다. 국내에서의 페퍼라이트는 변산반도의 불안화산암(Choi *et al.*, 2001; Cho *et al.*, 2016), 전북 부안군 계화리층(Noh *et al.*, 2009), 주왕산 일대(Woo and Jang, 2014) 그리고 경상분지 하양층군에 협제된 학봉현무암(Jeon and Sohn, 2008) 등의 일부 지역에서만 보고되고 있어 희소성의 가치가 있다. 따라서 지질명소 1-2 지점의 페퍼라이트는 그 산출만으로도 지질학적 가치는 충분할 뿐만 아니라, 마그마와 미고화된 퇴적물의 상호작용에 따른 마그마의 파쇄작용(fragmentation processes) 및 열에 의한 미고화된 퇴적물의 물리적 거동 변화(e.g., 유체화작용)를 학습하고 관찰할 수 있다. 지질명소 지점 2는 고온의 상태로 정치된 화성쇄설물이 고지형의 기복에 의해 전단력을 받아 형성된 유변성 화산력응회암의 형성기작을 학습하고 관찰할 수 있는 학술적

가치를 보여줌과 동시에, 이러한 유변성 화산력응회암은 국내의 청송군 주왕산응회암(Hwang *et al.*, 2007)에만 보고되고 있어 충분한 희소성을 보인다. 지질명소 지점 3은 고온의 화성쇄설물이 정치된 후, 이들이 냉각되는 과정에서 부피가 축소하여 형성된 다각형 기둥모양의 주상절리를 관찰하고 학습할 수 있어 지질학적으로 가치를 가진다. 지점 4는 저층류 퇴적암의 수직 입도변화를 통해 화산활동 휴지기동안 지표에 퇴적된 화성쇄설물들이 홍수류에 의해 호수로 유입되어 만들어진 저층류의 퇴적물 운반과 퇴적작용에 대해 관찰하고 학습할 수 있을 뿐만 아니라, 화산활동 이후의 퇴적시스템의 특징과 퇴적과정을 이해할 수 있는 교육장소로 활용이 가능하다.

6. 결론 및 제언

위도화산암은 후기 백악기동안 한반도에 발생한 대륙 화산호활동에 의해 형성된 화산암체의 잔존물로, 위도화산암을 구성하고 있는 안산암질-유문암질 화산암류와 쇄설성퇴적암은 당시의 화산-퇴적시스템의 발달과정을 잘 보여준다. 위도화산암 내의 여러 지질명소들은 화산활동 이전 또는 화산활동 초기의 충적평원의 퇴적작용 및 고기후의 특징부터 화산활동 동안 화성쇄설성 밀도류에 의한 화성쇄설암의 형성기작(지점 2) 및 화성쇄설암의 냉각과정에서의 물리적 변화(지점 3) 그리고 화산활동 이후 퇴적층의 형성과정(지점 4)까지 다양한 화산-퇴적시스템의 지질학적 요소들을 이해할 수 있는 기회를 제공하여 중요한 지질교육 및 학술적 가치를 지니고 있는 것으로 판단된다. 따라서 지질명소로서의 가능성이 있는 네 지점은 고창-부안권 국가지질공원 후보지의 지질명소가 될 수 있을 것으로 보인다. 하지만 위도지역(위도화산암)은 주변 부안(부안화산암)-고창(선운산화산암)지역에 비해 지질자원 또는 관광자원에 대한 인프라 구축과 홍보가 턱없이 부족하므로, 지방자치단체가 스스로 이러한 문제점에 대해 인식하고 보완해야 할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 미래창조과학부의 지원을 받아 시행한 한국지질자원연구원의 주요사업인 '한반도 중서부

의 층서지구조 규명 및 통합지질정보 시스템 구축 (GP2016-006)'의 일환으로 수행되었다. 본 논문에 건설적인 조언을 해주신 익명의 심사자 분과 경상대학교 정종욱 박사님께 감사의 인사를 드리며, 야외 지질조사에 도움을 준 이상우 학우에게도 감사드립니다.

REFERENCES

- Andrews, G.D.M. and Branney, M.J., 2011, Emplacement and rheomorphic deformation of a large, lava-like rhyolitic ignimbrite: Grey's Landing, southern Idaho. *Geological Society of America Bulletin*, 123, 725-743.
- Branney, M.J. and Kokelaar, B.P., 1994, Volcanotectonic faulting, soft-state deformation, and rheorphism of tuffs during development of a piecemeal caldera, English Lake District, Geological Society of America Bulletin, 106, 507-530.
- Branney, M.J. and Kokelaar, B.P., 2002, Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites: Geological Society of London's Memoirs 27. *Journal of Geological Society of London*, London, 143 p.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1987, *Volcanic Successions: Modern and Ancient*. Allen and Unwin, London, 528 p.
- Brown, D.J. and Bell, B.R., 2013, The emplacement of a large, chemically zoned, rheomorphic, lava-like ignimbrite: the Sgurr of Eigg Pitchstone, NW Scotland. *Journal of Geological Society*, 170, 753-767.
- Budkewitsch, P. and Robin, P.Y., 1994, Modelling the evolution of columnar joints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59, 219-239.
- Busby-Spera, C.J. and White, J.D.L., 1987, Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties. *Bulletin of Volcanology*, 49, 765-775.
- Cho, K.-S., Kim, C.-B., Kwon, C.W. and Hong, D.-P., 2016, The Valuation of geosites and geoheritages in the Buan Volcanics of Byeonsanbando National Park. *Journal of Korean Earth Science Society*, 37, 79-88 (in Korean with English abstract).
- Choi, P. and Hwang, J.H., 2013, Geological report of the Gunsan, Buan, Banchukdo, and Jangjado Sheets (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 76 p (in Korean with English abstract).
- Choi, S.W., Lee, Y.E., Park, K.H. and Lee, C.H., 2001, Occurrences and formation model of peperite in the Jugmagri Area, Byeonsan Peninsula, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 37, 297-308 (in Korean with English abstract).
- Chough, S.K., Kwon, S.T., Ree, J.H. and Choi, D.K., 2000, Tectonic and sedimentary evolution of the Korean Peninsula: A review and new view. *Earth Science Review*, 52, 175-235.
- Chough, S.K. and Sohn, Y.K., 2010, Tectonic and sedimentary evolution of a Cretaceous continental arc-back-arc system in the Korean peninsula: new view. *Earth Science Review*, 101, 225-249.
- Chun, S.S. and Chough, S.K., 1995, The Cretaceous Uhangri Formation, SW Korea: lacustrine margin facies. *Sedimentology*, 42, 293-322.
- Druitt, T.H., 1995, Settling behavior of concentrated dispersions and some volcanological applications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 65, 27-39.
- Gihm, Y.S. and Hwang, I.G., 2014, Syneruptive and inter-eruptive lithofacies in lacustrine environments: The Cretaceous Beolkeum member, Wido Island, Korea. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 273, 15-32.
- Gihm, Y.S. and Hwang, I.G., 2016, Lacustrine hyperpycnal flow deposits after explosive volcanic eruptions, Cretaceous Beolkeum Member, Wido Island, Korea. *Geoscience Journal*, 20, 157-166.
- Goto, Y. and McPhie, J., 1996, A Miocene basanite peperitic dyke at Stanley, northwestern Tasmania, Australia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 74, 111-120.
- Hanson, R.E. and Wilson, T.J., 1993, Large-scale rhyolitic peperites (Jurassic, southern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 247-264.
- Hwang, S.K., 2007, Cooling Processes of the Juwangsang Tuff in Eastern Cheongsong, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 353-367 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Lee, B.J. and Reedman, A.J., 2007, Flow lineation and emplacement processes of the Juwangsang Tuff, eastern Cheongsong. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 463-476 (in Korean with English abstract).
- Jeon, Y.M. and Sohn, Y.K., 2008, Characteristics, emplacement processes, and stratigraphic implications of the basalts intercalated with the Hayang Group, Cretaceous Gyeongsang Basin, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 44, 707-727 (in Korean with English abstract).
- Jeong, J.O., Kwon, C.W. and Sohn, Y.K., 2006, The Paljori Tuff in the Miocene Eoil Basin, SE Korea: primary and secondary volcanoclastic sedimentation in a fluvio-lacustrine setting. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 175-197 (in Korean with English abstract).
- Ko, K., Park, S. and Kwon, C.W., 2015, Soft-sediment deformation structures in the Cretaceous Gyeokpori Formation of the Buan area, Korea: Structural characteristics, reconstruction of paleoslope and triggering mechanism of slump. *Journal of the Geological Society*

- of Korea, 51, 545-560 (in Korean with English abstract).
- Koh, H.J., Kwon, C.W., Park, S.I., Park, J. and Kee, W.S., 2013, Geological report of the Julpo and Wido-Hawangdeungdo sheets (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 81 p (in Korean with English abstract).
- Kim, S.B., Kim, Y.G., Jo, H.R., Jeong, K.S. and Chough, S.K., 2009, Depositional facies, architecture and environments of the Sihwa Formation (Lower Cretaceous), mid-west Korea with special reference to dinosaur eggs. *Cretaceous Research*, 30, 100-126.
- Kim, S.W., Kwon, S., Ryu, I.C., Jeong, Y.J., Choi, S.J., Kee, W.S., Yi, K., Lee, Y.S., Kim, B.C. and Park, D.W., 2012, Characteristics of the Early Cretaceous igneous activity in the Korean Peninsula and tectonic implications. *Journal of Geology*, 120, 625-646.
- Kokelaar, B.P., 1982, Fluidization of wet sediments during the emplacement and cooling of various igneous bodies. *Journal of Geological Society*, 139, 21-33.
- Kokelaar, B.P., 1986, Magma water interactions in sub-aqueous and emergent basaltic volcanism. *Bulletin of Volcanology*, 48, 275-289.
- Kwon, C.W., Ko, K. and Koh, H.J., 2015, Geological report of the Beopseongpo, Anmado, Songido, Bunamdo, Imjado sheets (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 57 p (in Korean with English abstract).
- Lee, S.J., Lee, H.W., Sagong, H., Choi, H.S., Lee, M.J. and Park, J.H., 2012, Report of the Master Plan for Geopark and Certification Criteria, Korea Natural Park Service, Seoul, 201 p (in Korean with English Abstract).
- Manville, V., Németh, K. and Kano, K., 2009, Source to sink: A review of three decades of progress in the understanding of volcanoclastic processes, deposits, and hazards. *Sedimentary Geology*, 220, 136-161.
- Martin, U. and Németh, K., 2007, Blocky versus fluidal peperite textures developed in volcanic conduits, vents and crater lakes of phreatomagmatic volcanoes in Mio/Pliocene volcanic fields of Western Hungary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159, 164-178.
- McPhie, J., Doyle, M. and Allen, R., 1993, *Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks*. University of Tasmania, Hobart 196 p.
- Mulder, T., Syvitski, J.P.M., Migeon, S., Faugères, J.C., and Savoye, B., 2003, Marine hyperpycnal flows: Initiation, behavior and related deposits: A review. *Marine and Petroleum Geology*, 20, 861-882.
- National Geoparks of Korea, 2016, <http://www.kor-geoparks.kr/main.do> (June 2, 2016)
- Noh, B.S., Park, J.M., Kim, S.B. and Ryang, W.H., 2009, Basaltic Andesite-Siltstone Peperite in the Gyehwari Formation (Cretaceous). *Journal of Korean Earth Science Society*, 30, 33-39 (in Korean with English abstract).
- North, C.P. and Davidson, S.K., 2012, Unconfined alluvial flow processes: recognition and interpretation of their deposits, and the significance for palaeogeographic reconstruction. *Earth Science Review*, 111, 199-223.
- Ryang, W.H., 2013, Characteristics of strike-slip basin formation and sedimentary fills and the Cretaceous small basins of the Korean Peninsula. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 31-45 (in Korean with English abstract).
- Sagong, H. and Lee, S.J., 2014, A Measure on the Conservation of Geological Heritages: Geological Survey and Evaluation Forms for Geologic Outcrops. *Journal of Petrological Society of Korea*, 23, 145-152 (in Korean with English abstract).
- Skilling, I.P., White, J.D.L. and McPhie, J., 2002, Peperite: a review of magma-sediment mingling. In: Skilling, I.P., White, J.D.L. and McPhie, J. (eds.), *Peperite: Processes and Products of Magma-Sediment Mingling*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114, 1-17.
- Smith, G.A., 1991, Facies sequences and geometries in continental volcanoclastic settings. In: Fisher, R.V. and Smith, G.A. (eds.), *Sedimentation in volcanic settings*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Boulder, Special Publication, 45, 109-121.
- Spry, A.H., 1962, The origin of columnar jointing particularly in basalt flows. *Journal of the Geological Society of Australia*, 8, 191-216.
- 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).
- Woo, H.D. and Jang, Y.D., 2014, Occurrence and Morphological Characteristics of the Peperite in Mt. Juwang, Cheongsong. *Economic and Environmental Geology*, 47, 97-105
- Zavala, C., Ponce, J.J., Arcuri, M., Drittanti, D., Freije, H. and Asensio, M., 2006, Ancient lacustrine hyperpycnites: A depositional model from a case study in the Rayoso Formation (Cretaceous) of west-central Argentina. *Journal of Sedimentary Research*, 76, 41-59.

Received : August 4, 2016

Revised : September 9, 2016

Accepted : October 4, 2016

Appendix 1. An evaluation form for the geosites in the Wido Volcanics.

| 평가유형 | 학술가치 | 관리번호: | |
|---------|--|-------|---|
| 항목 | 세부항목 | 평가 | 평가내용 |
| 종합평가 | 학술 및 교육 | Ic | · 위도화산암의 지질명소는 공룡암과 페퍼라이트를 포함하는 적색 이암, 화산력응회암 내의 유변성 조직, 화산력 용결응회암 내의 주상절리, 저층류 퇴적암으로 구성되며 지질학적 대표성, 희소성, 다양성, 전형성을 보임. · 2016년 현재까지 국외학술지에 위도화산암을 해석한 논문이 2편 게재됨. |
| | 지형 및 경관 | II | · 해안선에서 산지와 바다가 만나고 있어 경관이 아름답음 |
| 세부평가 | | | |
| 학술 및 교육 | 대표성 | I | · 위도화산암을 구성하는 화산암류와 퇴적암은 후기 백악기 한 반도에 활발하게 활동한 대륙 화산호활동의 잔존물로, 당시의 화산-퇴적시스템의 형성과 발달사를 대표함. |
| | 희소성 | I | · 페퍼라이트와 화산력응회암의 유변성 조직은 국내에 드물게 보고되고 있어 희소성을 보임. |
| | 다양성 | II | · 위도화산암은 화산활동 전, 후 및 화산활동 동안 형성된 지층으로 구성되어 있어 지질 다양성을 보임. |
| | 전형성 | II | · 저층류 퇴적암의 역접이-정점이 층리 및 내부침식구조는 저층류퇴적층 모델의 전형성을 보여줌. |
| 지형 및 경관 | 특이성 | III | · 암석의 종류에 따른 지형의 변화를 관찰하기 어려움. |
| | 심미성 | II | · 해안선에서 산지와 바다가 만나고 있어 경관이 아름답음. |
| | 자연성 | I | · 모든 지질명소의 노두는 자연적으로 형성됨. |
| 노두보존상태 | 규모 | II | · 대부분 30 m 전, 후의 측방연장성을 보임. |
| | 신선도 | II | · 화산암-퇴적암의 암상특징 및 구조를 관찰하는데 무리가 없음 |
| 관리상태 | 관리현황 | III | · 자연 상태로 보존되어 있으나, 인위적인 보호활동이 전무함. |
| | 접근성 | III | · 섬에 위치하고 있으므로 입도하기 위해 해상날씨가 변수가 됨. · 조차(약 6m)에 의해 만조 시 접근로가 침수되어 접근의 제약이 따름. |
| 평가등급 | 2~3 등급 | | |
| 기타의견 | · 접근성을 보장할 수 있는 접근로 설치가 선행되고 노두를 설명할 수 있는 입간판 혹은 전시실이 마련된다면 평가등급이 상향될 것으로 기대됨. | | |