

울릉도 도동·저동 해안산책로의 화산학적 특징과 지오사이트로서 활성화 방안

배수경¹ · 추창오² · 장윤득^{2,*}

¹울릉군청 환경산림과 환경지질담당

²경북대학교 지질학과

요 약

울릉도의 도동·저동 해안산책로는 접근성이 뛰어나기 뿐만 아니라 수려한 자연 경관을 볼 수 있어서 울릉도·독도 국가지질공원의 대표적인 지오사이트이다. 또한 현재 2.7 km 구간의 지오투레일 코스가 지질관광·교육 프로그램으로 운영 중이다. 이 일대의 암상은 해수면 위 하부로부터 자가각력용암, 베개용암, 화산각력암, 재퇴적쇄설암, 화산쇄설암, 조면암 등과 같이 다양한 화산암 내지 화산쇄설암류로 구성된다. 이 지역 화산활동 해설의 주요테마는 비폭발성 알은 해저환경에서 휴지기를 겪은 후 폭발성 육상환경으로 점차 변화하는 화산학적 특징과 침식풍화에 의한 해안경관이다. 각력암류와 각력암층 내 응회암 내지 라필리응회암층, 베개용암의 외곽부, 화산각력암의 기질부, 자가각력용암 내 퇴적층에서 나타나는 팔라고나이트는 수중환경임을 지시한다. 재퇴적 화산쇄설암이 생성된 시기는 휴지기를 대표하며, 적색 응회암 내지 라필리응회암과 용결응회암의 생성 시기는 육상환경을 지시한다. 그 외에도 도동·저동 해안산책로는 다양한 화산활동 산물 등의 우수한 지질유산을 관찰할 수 있어서 대중들에게 지질관광 및 교육 장소로서 최적의 코스이다. 향후 지오투레일 코스를 사방으로 확대하고, 지질명소별 홍보물 제작, 안내판 보수·제작, 지질생태탐방객센터 활성화 등 지질공원 관리·운영을 체계적으로 함으로써, 도동·저동 해안산책로를 비롯한 울릉도·독도 국가지질공원의 대표적인 지질명소로 활성화할 예정이다.

주요어: 도동·저동 해안산책로, 울릉도·독도국가지질공원, 지오사이트, 지오투레일, 화산암

Su Gyeong Bae, Chang Oh Choo and Yun Deuk Jang, 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, v. 50, no. 1, p. 71-89

ABSTRACT: Dodong and Jeodong seashore walkways in Ulleung Island are the most popular and representative geosites in the Ulleung·Dokdo national geopark because they have not only good accessibility but also various picturesque landscape. Geotourism and education programs are available at the 2.7 km long geotrails along the coast. This area actually consists of various volcanic and volcanoclastic rocks such as autoclastic lava breccia, pillow lava, volcanic breccia, epiclastic volcanic rocks, pyroclastic rocks, and trachyte in ascending order. The main topics for geotour in this area are related with volcanological features and unique landscapes formed by erosion and weathering as follows: after the volcanic activity ceased, its geological environments changed from non-explosive shallow submarine to explosive subaerial island. The presence of breccia, pillow lava, tuff to lapilli tuff with palagonitization in matrix of volcanic breccia, and lava breccia indicates evidence that these were formed by subaqueous eruption of basaltic lava, followed by non-explosive quenching fragmentation under shallow seawater. The epiclastic volcanic rocks formed by landslide at steep slopes during volcanic quiescence. As thickness of the volcano increased, subaerial environment emerged, with welded tuff formed by heat and load coincidentally with pyroclastic rocks formed due to explosive eruption. This area can serve as the excellent geoheritages suitable both for geological sightseeing and education sites because there are the above abundant and valuable volcanological assets. The geopark office has established an activation plan to expand geotrails into many ways, publications of leaflets and signboards for geosites, invigoration of the geotour center, and so on, which can help the geosite of the Ulleung·Dokdo national geopark be activated.

* Corresponding author: +82-53-950-5358, E-mail: jangyd@knu.ac.kr

Key words: Dodong and Jeodong seashore walkways, Ulleung-Dokdo national geopark, geosite, geotrail, volcano-logical feature

(Su Gyeong Bae, Geopark Team, Environments and Forest Division, Ulleung-Gun Provincial Office, Ulleung-Gun 799-801, Korea; Chang Oh Choo and Yun Deuk Jang, Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

1. 서 언

2010년 10월에 제주도가 유네스코 세계지질공원(Global Geopark)으로 인증 받은 후, 우리나라에도 국가지질공원 제도가 도입되었고, 2013년 현재 국가지질공원사무국 설립 및 국가지질공원망 구축 등 원활한 국가지질공원 운영을 위한 기반이 조성되었다. 국가지질공원이란 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). 울릉도·독도는 제주도와 함께 국내 대표 화산섬으로서 지질학적 유산이 풍부하여 지질공원으로서의 가치를 인정받아 2012년 12월에 국내 최초로 국가지질공원이 되었다. 울릉도·독도 국가지질공원에는 총 23개의 지오사이트가 있다. 그 가운데 울릉도의 남동쪽에 위치한 도동·저동 해안산책로는 울릉도·독도의 관문으로서 접근성이 우수한 관광지 중 하나이며, 울릉도 초기 화산활동의 산물과 더불어 해안침식에 의한 지형을 관찰할 수 있는 점에서 대표적인 지오사이트라 할 수 있다.

기존 울릉도 지질연구에 따르면 연구지역은 해수면 위 최하부층인 현무암질 집괴암 분포지에 해당하며 조면암 I의 하부에 위치한다(그림 1a). 울릉도는 신생대 제3기 말인 플라이오세(Pliocene)에서 제4기 홀로세(Holocene)까지 화산활동으로 형성되었다. 구성 화산암은 매우 높은 알칼리 함량과 대부분 K계열의 분화경향($K_2O > Na_2O$)을 보이는 등 상당히 분화가 진행된 암석들로 이루어져 있다(Song *et al.*, 1999). 기존 연구에서는 화산암의 산출상태, 화산암 및 화산분출물의 특징, 암석 절대연령 측정 자료 등에 의해 울릉도의 화산활동시기를 크게 5기로 나누는데, 하부로부터 현무암질 집괴암류, 조면암질 집괴암류, 조면암류, 조면암질 부석류, 조면 안산암질류로 구분한다(Lee, 1954; Won and Lee, 1984; Min *et al.*, 1988; Kim, 1996). 도동·저동 해안산책로는 제

1기 화산분출의 결과로 형성된 현무암질 집괴암 지역으로서 응회 각력암·라필리 응회암 등의 화산쇄설암 및 현무암질 용암과 각력암 등의 현무암질암류를 협재하고 있는 것으로 알려져 있다(Kim and Lee, 1983; Won and Lee, 1984; Min *et al.*, 1988; Kim, 1996; Bae, 2011; Hwang *et al.*, 2011). 본 논문은 도동·저동 해안산책로를 따라 분포하는 암석의 화산학적 특징규명과 이를 통해 이 일대의 화산활동사를 스토리텔링화하여 교육·관광 등에 효과적으로 활용하여 울릉도·독도 국가지질공원을 대표하는 주요 지

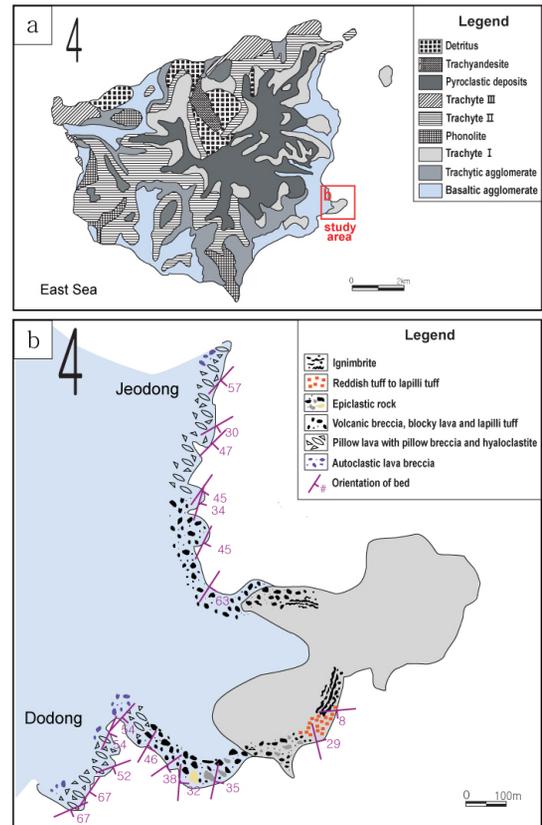


Fig. 1. (a) Geologic map of Ulleung Island modified from Kim (1985). (b) Detailed lithological map and lava flow orientations of the study area, Dodong and Jeodong seaside walkways.

오사이트로 활성화하는 방안을 제안하고자 한다.

2. 화산학적 가치

2.1 화산암의 분포

울릉도 남동부에 위치한 도동·저동 해안산책로의 지질은 기존 연구에 의하면 조면암에 의하여 피복되는 현무암질 집괴암 지역으로 알려져 있다(그림 1a). 본 연구에서는 이 지역의 암석을 6종류의 화산암류 내지 화산쇄설암으로 구분하고, 기존 지질도 위에 암상 분포도를 작성하였다(그림 1b). 도면상 북서쪽이 하부이고 남동쪽으로 갈수록 상부층이며, 전반적인 주향·경사방향은 N30E, 45SE이다. 이들 암종은 하위에서부터 상위로 가면서 각각 자가각력용암, 베개용암, 화산각력암류, 재퇴적 쇄설암층, 적색 응회암 내지 라필리응회암, 용결응회암, 조면암이다. 이들은 울

릉도의 해수면 위로 드러난 초기 지층으로서 울릉도 화산활동을 해석하는데 중요한 정보를 제공할 뿐만 아니라, 다양한 화산암의 구조를 특징적으로 포함한다. 이들 화산암의 산출특징을 상술하면 다음과 같다.

2.2 자가각력용암(autoclastic lava breccia)

도동·저동 해안산책로의 하부에 분포하는 용암은 형태학적으로는 아아용암(a'ā lava)이 우세하며, 성인적으로는 자가각력용암(autoclastic lava breccia)으로 분류된다(그림 2a). 보통의 아아용암과 같이 하나의 용암덩어리로 보이나 각력화 작용에 의해 대부분이 역으로 구성되며, 도동의 역 크기는 라필리 크기부터 15 cm까지 다양한 편이나 대부분 5~8 cm이다. 저동지역에는 1.3 m 가량의 거대한 암괴 크기의 역도 있다(그림 2b). 도동 해안산책로의 자가각력용암층 내에는 2 개의 라필리응회암질 퇴적층이 협재

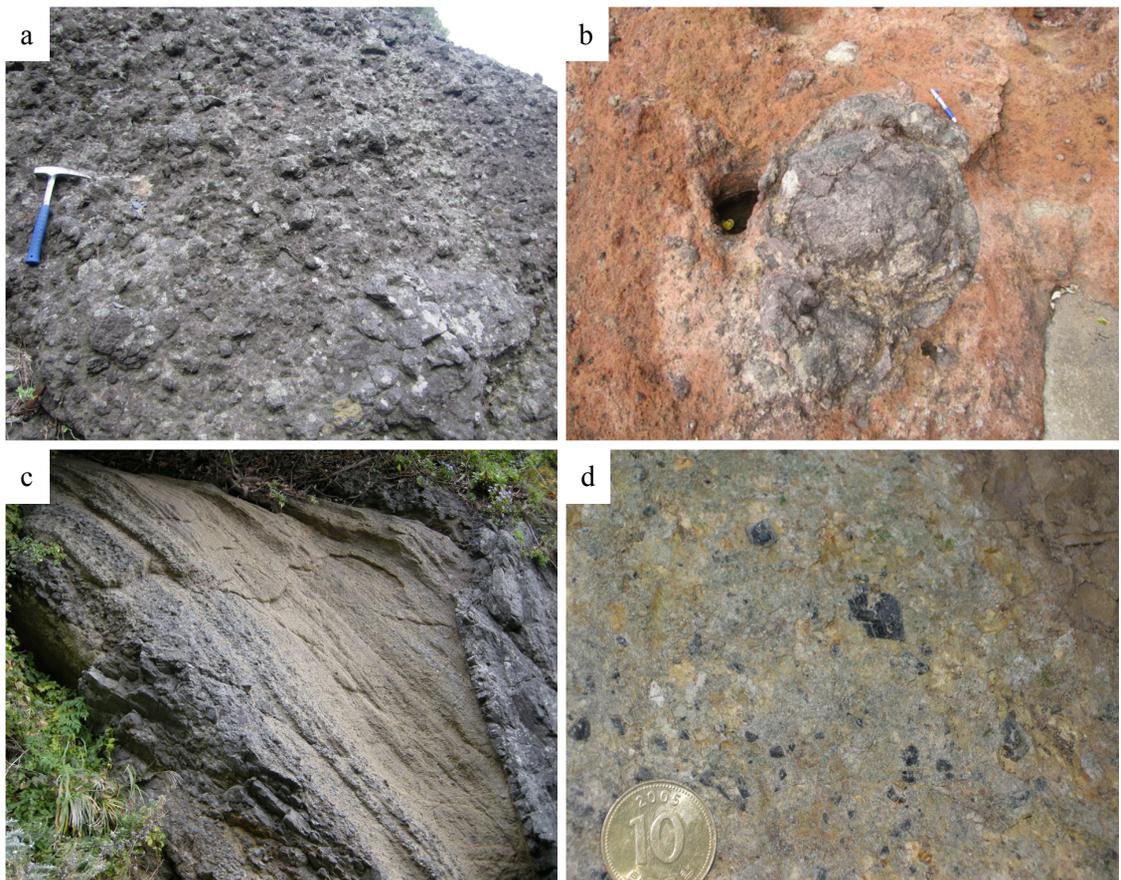


Fig. 2. Autobreccia. (a) Clinker in Dodong. (b) Lava ball in Jeodong. (c) Lapilli tuff in autobreccia of Dodong. (d) Large idiomorphic phenocrysts of pyroxene within lapilli tuff in Dodong.

되어 있다. 상부층은 평균 N48W, 60SW의 배향으로서 2~3 m 정도의 층후를 가지며, 횡적 연장성이 좋다(그림 2c). 암질은 각력, 사질, 실트질이며, 퇴적층 내에서도 각각의 암질로 구분되며 얇은 층리가 쉽게 인지된다. 그러나 이들 간의 경계부는 점이적이며, 일부는 서로 혼재하는 구간도 존재한다. 하부 퇴적층은 특징적으로 자형의 조립질 휘석 결정편을 다수 포함하고 있다(그림 2d). 상부 퇴적층의 하부에는 직경 수 cm의 각력암이 풍부하고 상부로 갈수록 세립질이 풍부한 응회질 암상으로 변화하는 전형적인 상향세립을 나타낸다. 기질은 대부분 팔라고나이트화(palagonitization)되어 노란색 또는 담적색으로 변한 양상을 보여주며, 용암이 이 퇴적층을 사교하면서 절단한 곳도 있다.

2.3 베개용암(pillow lava)

베개용암 및 이들 사이의 틈을 채우는 유리질 쇄설암(glassy fragmental rock)이 복합적으로 나타난다. 이들은 하위의 자가각력용암층과 접촉하면서 발달한다(그림 3a, 3b). 이들의 접촉경계면은 총 세 군데에서 뚜렷이 관찰되는데, 경계면의 배향은 저동 해안산책로에서 N21E, 48SE, 도동 해안산책로에서 각각 N34E, 42SE 및 N34E, 67SE이다. 베개용암은 흔히 더미로 모여 겹겹이 층을 이루고 있는데, 이 경우 베개용암의 뾰족한 면의 방향이 뚜렷하므로 이를 통해 베개용암층의 상하부를 판단할 수 있다. 그림 3e는 아래쪽이 베개용암층의 하부이고 좌측 위쪽이 상부임을 보여준다. 베개용암들의 측면이 잘려나간 단면이 쉽게 관찰되며 일부는 3차원적으로 드러난 경우도 있다. 또한 점성이 낮은 현무암질 용암에서 생성되기에는 다소 큰 규모인 1 m 가량의 대형베개용암(megapillow)도 간혹 관찰된다. 격리된 신장 베개용암(isolated elongate pillows)은 바게트빵 모양으로서 신장비가 1:3 이상이며, 장축은 흐름방향과 일치하는데 이는 비교적 급경사면을 따라 흐르면서 냉각하였음을 보여준다.

베개용암의 껍질이나 단면에는 거북등구조(tortoise structure) 모양의 절리가 흔히 발달하며, 격리된 신장 베개용암 중 일부는 신장방향과 동일하게 긴 줄무늬가 바깥 껍질에 나타난다. 베개용암 내 기공은 둥근 형태와 신장된 형태로 잘 발달하며, 베개용암의 형태를 따라서 일정한 구간을 중심으로 특정방향으로 배열되어 있다. 베개용암의 기공은 서로 병합

되어 커지거나 방사상으로 기공이 집중, 배열되며 특히 중심부나 가장자리에서 발달한다. 흔히 최외곽부는 급랭에 의해 형성된 냉각대(chilled margin)가 발달한다. 베개용암 껍질의 냉각부는 대부분 유리질(glassy rind)로서 검정색을 띠며, 그 폭은 0.5~2 cm 가량이다. 베개용암은 현무암질이며 흔히 직경 1.5 cm 가량의 휘석반정을 포함한다. 베개용암 틈새를 메우고 있는 유리질 쇄설암은 베개각력암(pillow breccia)이나 하이알로클래스타이트(hyaloclastite)가 대표적인데, 베개각력암은 아크 모양의 현무암편으로 나타난다. 연구지역에서 베개각력암은 드물며, 베개용암 사이의 유리질 쇄설암은 대부분 하이알로클래스타이트이다. 하이알로클래스타이트는 4 mm 이상의 입자크기를 가지는 비폭발성 유리질 쇄설암으로 정의된다(McPhie *et al.*, 1993; Batiza and White, 2000). 하이알로클래스타이트는 용암이 물이나 얼음 또는 습한 퇴적물과 접촉하면 용암 표면이 냉각되면서 깨어지거나 입자화 되는 과정에서 형성되는데, 특히 해저분출 후 일어난 비폭발성 급랭 파쇄작용에 의해 생성된 것을 의미한다. 연구지역의 하이알로클래스타이트는 장경 5 cm 이하의 타원형이 많으나 다소 불규칙한 형태이며, 베개용암 껍질에 평행하게 일렬로 배열되기도 한다(그림 3c, 3d). 하이알로클래스타이트 외에도 베개용암들 사이의 틈은 라필리 크기의 노란색 기질로 채워져 있는데 이는 팔라고나이트화의 결과물이며, 베개용암의 일부 깨진 면에서도 이와 유사한 색과 질감을 보인다.

저동 해안산책로에서는 베개용암층 상부에 두께 1 m 가량의 응회질 퇴적층이 2 매 나타나며, 경사면을 따라 아래쪽으로 내려가며 1 매로 합쳐져 나타난다. 이 퇴적층은 노란색 내지 붉은색의 라필리응회암이며, 베개각력암 및 하이알로클래스타이트 파편이 흔히 관찰된다(그림 3f). 이들은 기존의 베개용암이 파쇄되어 생긴 것으로서 베개각력암에서는 타킬라이트(tachylite) 껍질과 기공을 뚜렷하게 관찰할 수 있다. 이 퇴적층으로 베개용암층과 화산각력암과의 경계 설정이 가능한데, 그 경계면의 배향은 N23E, 45SE이다. 한편 해안가로 노출되어 있는 일부 베개용암에는 타포니가 특징적으로 발달하며, 곳곳에 발견되는 염기성암맥은 수직 내지 고각으로 자가각력용암 및 베개용암을 관입하였고, 암맥의 가장자리에는 검은색 유리질암인 타킬라이트가 흔히 관찰된다.

2.4 화산각력암류(volcanic breccia)

화산각력암, 용암, 화산각력암과 용암의 교호층, 라필리용회암 등으로 구성된 복합체를 통칭하여 화

산각력암류로 구분한다. 화산각력암은 도동과 저동에서 산출되는데, 하부에서는 용암자체가 부서진 자각력용암이 산출된 반면 상부로 갈수록 점점 각력

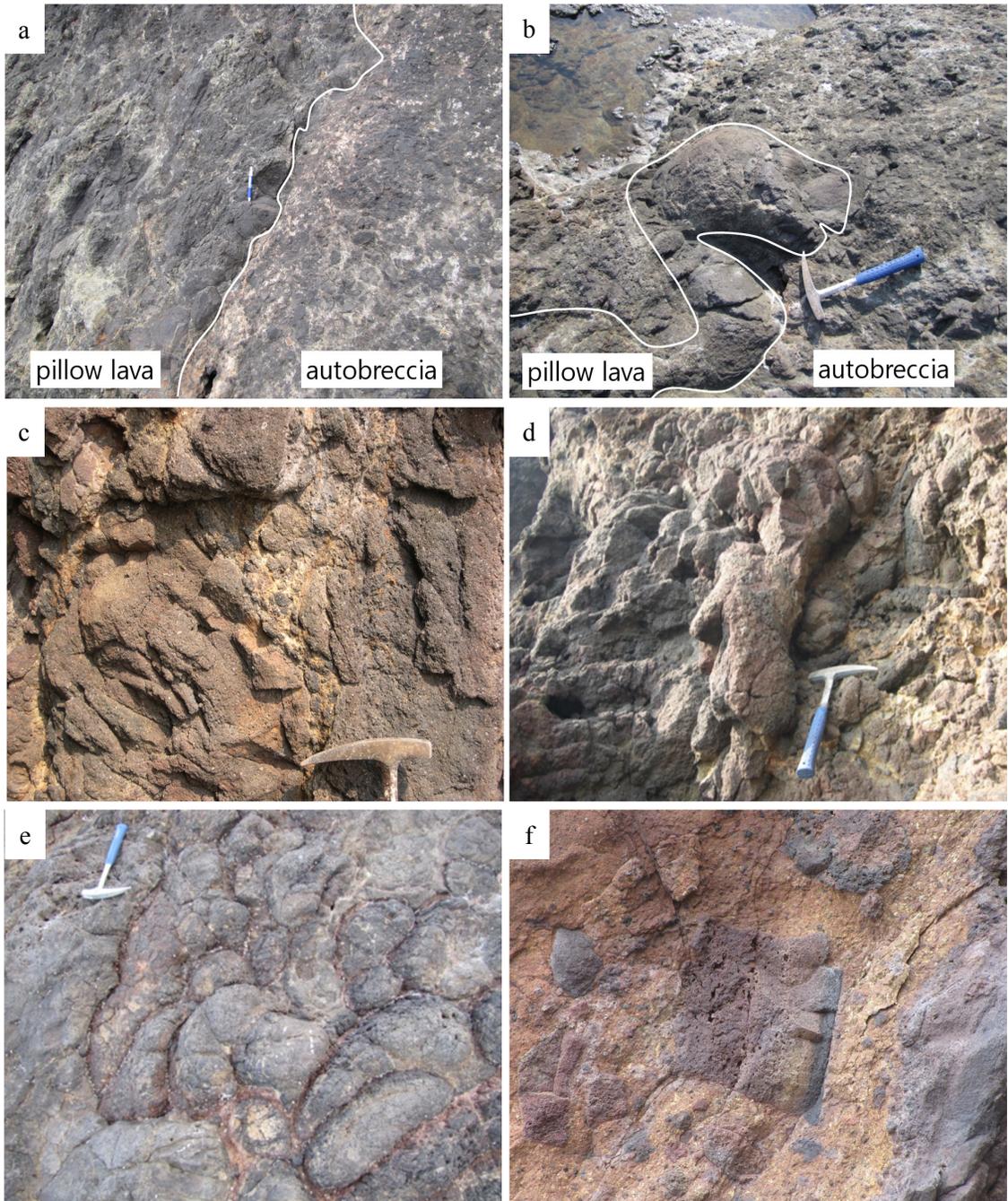


Fig. 3. Pillow lava. (a), (b) Boundary between autobreccia and pillow lava in Jeodong. (c) Pillow breccia. (d) Elongated pillow lava and pillow breccia in Dodong. (e) Pillow lava swarm in Jeodong. (f) Pillow breccia and hyaloclastite in Jeodong.

과 기질의 경계가 뚜렷해지는 화산각력암으로 전이한다. 상부로 갈수록 역 속의 휘석결정의 크기와 양이 증가하는 양상이 일부 보이지만, 층준에 따른 일

정한 규칙성은 없다(그림 4b). 또한 각력들은 둥근 기공(그림 4b) 및 신장된 기공(그림 4c) 양상 등 다양한 범위의 기공형태를 가지나 기공의 방향성은 보이

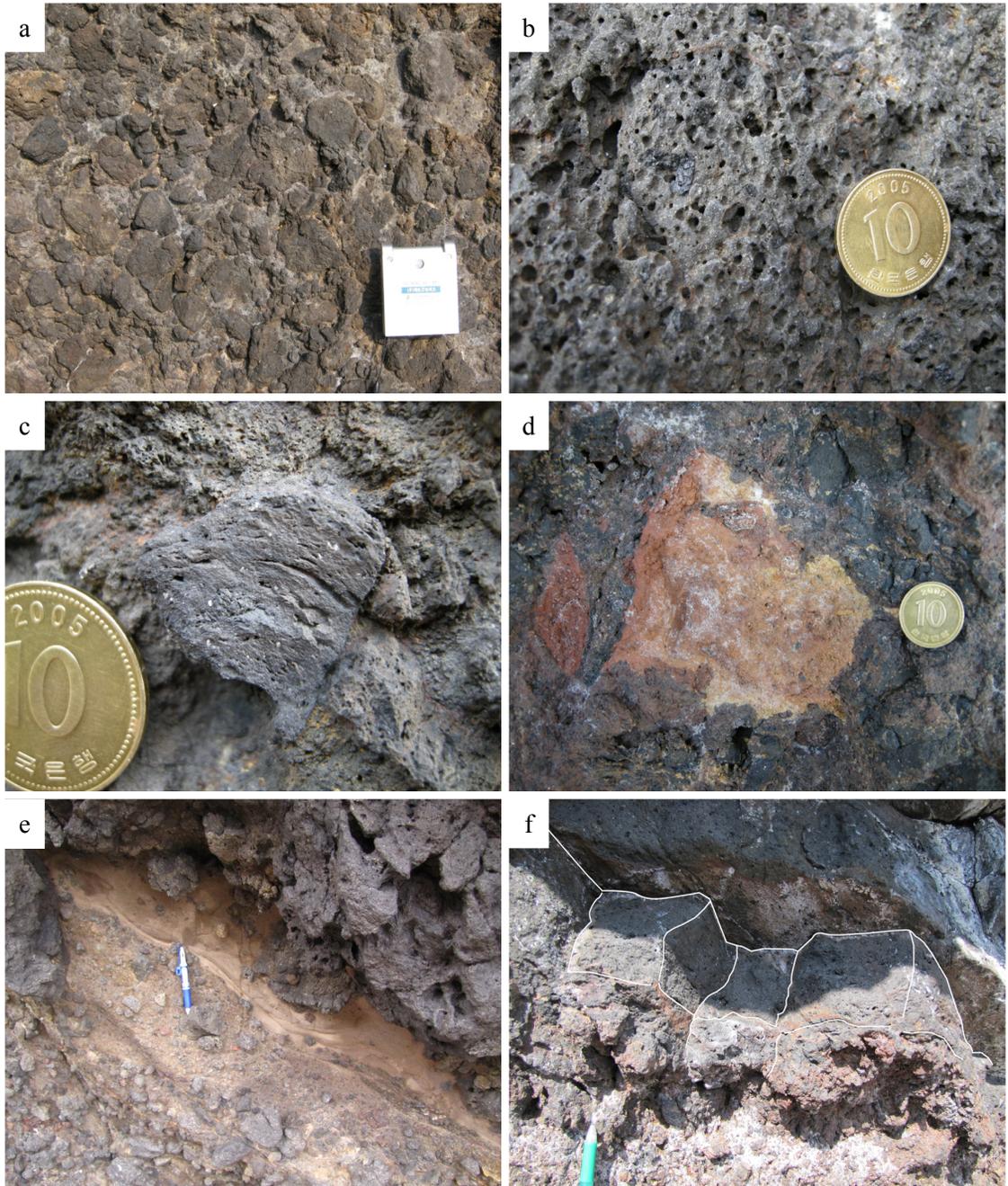


Fig. 4. Volcanic breccia. (a) Volcanic breccia are monomictic and have matrix-supported domains. (b) Pyroxene in volcanic breccia with s-type vesicles. (c) P-type vesicles. (d) The yellow to yellow-brown broken fragments are encased in lava. (e) Lapilli tuff with laminations. (f) The edge of blocky lava seems like columnar joint.

지 않으며, 용암에 의해 둘러싸여 있다(그림 4d). 곳곳에 황색 라필리응회암층이 협재되어 있고, 적색으로 팔라고나이트화된 층도 간혹 나타난다(그림 4e). 이 층은 각력암과 블록키 용암(blocky lava)이 교호하는 것이 특징이며, 특히 최상부에서는 총 6 개의 용암층이 확인된다. 블록키 용암의 가장자리는 마치 주상절리와 같은 각진 냉각절리를 나타내는 곳도 있다(그림 4f). 화산각력암층은 매우 붉게 산화되어 현무암질의 검은 용암과 대비되는 양상을 가지며, 상부로 갈수록 역의 종류가 단성(monogenetic 또는 oligomictic) 각력에서 복성(polygenetic 또는 poly-mictic) 각력으로 점이적으로 변화한다.

2.5 재퇴적 화산쇄설암층(epiclastic volcanic rocks)

도동 해안산책로에서는 화산각력암류 상위에 재퇴적 쇄설암층이 산출된다. 재퇴적 화산쇄설암층은 직접적인 화산분출에 의한 것이 아니라 이전에 존재 하던 다양한 기원의 암편들이 풍화·침식되고 이동한 후, 사태로 인해 재퇴적되어 형성되는 쇄설성 화산퇴적암이다. 즉 퇴적물의 기원이 화산암일 뿐 풍화 내지 퇴적과정은 다른 퇴적암과 유사한 과정을 거친다. 이곳의 쇄설암층의 암편들은 현무암, 조면암, 조면현무암, 포놀라이트, 부석, 응회암 등 다양한 화산암으로 구성되어 있으며, 파쇄화된 베개각력암 내지 타킬라이트도 일부 수반된다(그림 5). 암편의 장경, 반경의 비는 매우 다양하며, 원마도는 불량에서 좋음까지 폭넓은 특징을 보인다. 암편들이 퇴적물의 흐름방향에 따라 비늘모양으로 배열하는 임브리케이션(imbrication)이 관찰되는 구간이 간혹 있으나 연속성이 불량하다. 두께가 수십 미터 이상에 달하는 재퇴적 쇄설암층은 대체로 괴상이다. 사질퇴적암으로 이루어진 암편은 최대 폭이 대략 1 m에 이르는 거대 암괴로 산출되기도 한다. 암편들은 서로 접촉을 거의 하지 않는 기질지지(matrix-supported)의 특성을 보이며, 기질은 주로 응회질이나 화산쇄설성 기원의 실트 내지 사질인 경우도 있다. 큰 암편들 사이의 공간에는 미세입자로 이루어진 엽층리가 파동층리 또는 평행층리 형태로 흔히 발달한다(그림 6).

2.6 적색 응회암 내지 라필리응회암(reddish tuff to lapilli tuff)

응회암층 내지 라필리응회암층은 다양한 크기의

현무암역과 부석파편을 간헐적으로 소량 포함하고 있다. 도동 해안산책로의 재퇴적 쇄설암의 최상부 기질 및 역은 붉게 변질되어 있으며, N5W, 36NE의 배향을 가지는 면을 경계로 상위에 라필리응회암이 분포한다. 응회암층에서 붉은색은 동일하나 농도에 따라 세부층으로 구분이 가능하며, 하부로부터 적갈색과 적색이 교호한다. 적갈색층은 두께가 보통 10 cm이며, 최대 81 cm까지 이르며, 적색층의 두께는 5~8 cm 범위이다. 붉은색을 띠는 응회암층의 일부는 연장성이 좋지 않아 여러 층으로 갈라진다. 응회암층은 상부로 가면서 사층리로 존재하다 마지막 두 층은 아수평으로 전이하며 경사부정합 구조를 나타낸다. 조면암과 부정합인 접촉부는 치밀하며 단단한 특징을 지니며, 각력을 다량 포함한 최상부는 조면암과 직접적인 접촉을 하며 평행부정합 관계를 보인다(그림 7).

2.7 용결응회암(welded tuff, ignimbrite)

도동 해안산책로 적색 화산쇄설암의 상부에 수평층리 또는 파동층리(wavy bed)를 수반하는 부석질 화산쇄설류 기원의 용결응회암이 산출된다. 용결응회암 생성 이전의 층들의 경사가 30~60° 내외로 급경사인 데 반하여 이 층의 경사는 9~19°로서 매우 완만한 편이다. 피아메(fiamme)는 노두의 남서편 하부에 발달하며, 층리를 따라 횡적으로 연장되어 나타나거나 단독으로 존재하는데, 전자의 경우 2 cm의 수직 길이와 68 cm의 수평 길이로 층리와 평행하게 긴 연장성을 가지며 표면이 울퉁불퉁하게 드러나 있다(그림 8a). 후자의 경우 피아메의 크기는 수평 길이는 0.5~10 cm 범위, 수직 길이가 0.5~1.5 cm 범위이며, 대부분 약간의 파동형태를 가지는 렌즈상이다(그림 8b). 피아메 뿐만 아니라 주변 역들도 신장되어 있으며 역들 내 기공 또한 층리와 평행하게 신장되어 있다. 노두의 중상부 일부에는 사층리(그림 8c)와 파동구조와 유사한 키크습곡(kink fold)이 관찰된다(그림 8d). 층리면과 평행한 키크습곡의 한쪽 면은 N5E, 10SE의 배향을, 층리를 가로지르는 방향의 면은 N85W, 73NE의 배향을 가진다. 상부 응회질 기질 내에는 조면암 내지 현무암질 암편이 존재하며 최대 15 cm 크기를 보인다. 용결응회암 하부의 분급이 불량한 현무암질 각력암층과는 달리 상부층에는 기질의 함량이 많으며 층리가 잘 발달한다.

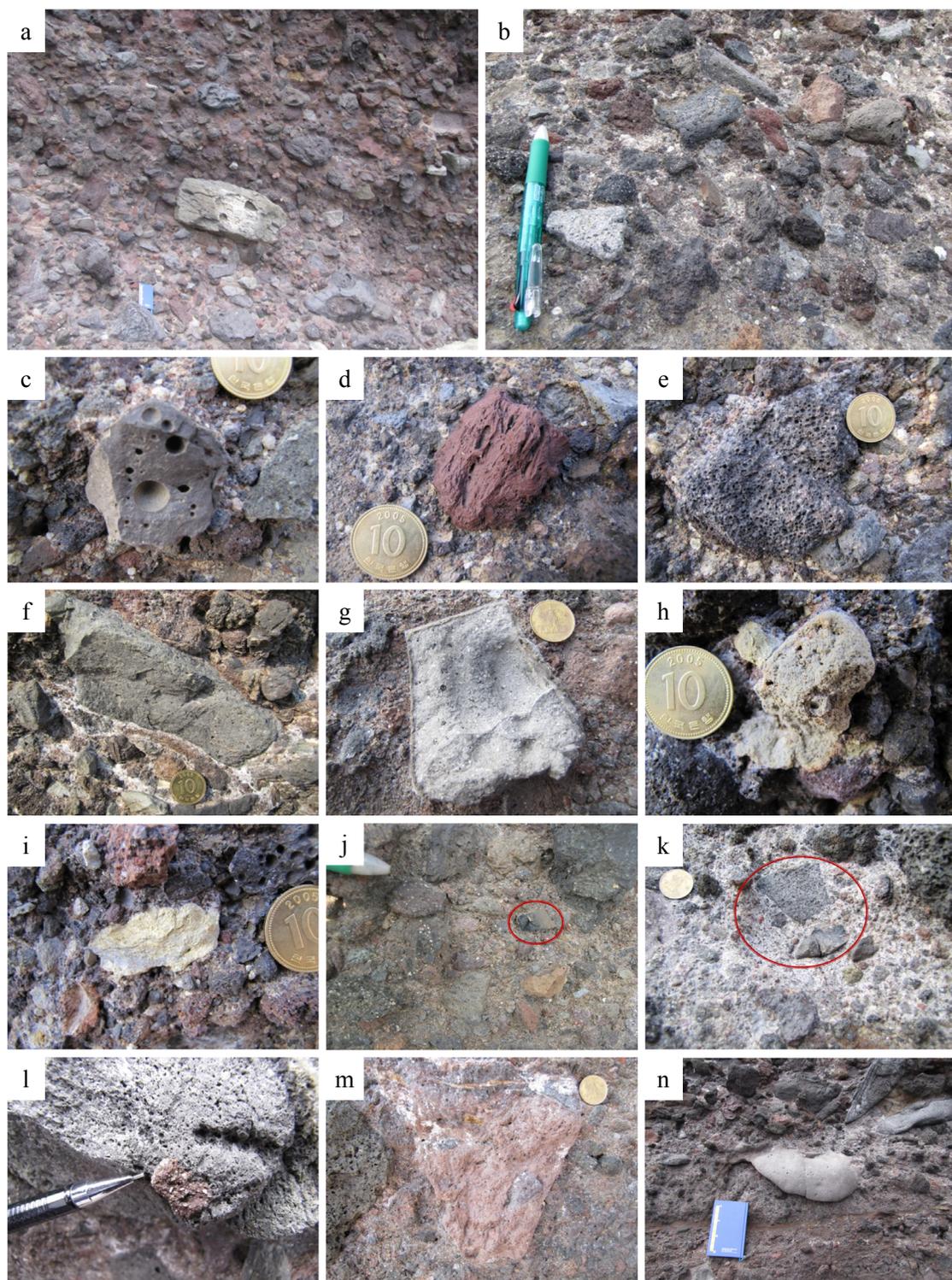


Fig. 5. Epiclastic rocks. (a), (b) Clasts with various sizes and roundness. (c), (d), (e) Basalt clasts. (f), (g) Trachyte clast. (h), (i) Tuff clast. (j), (k) Pillow lava breccia and hyaloclastites. (l), (m) Large clasts surrounded by small clasts. (n) Clast with good roundness originally derived from sedimentation.

3. 지오사이트의 현황과 관리

1903년, 울릉군청 소재지가 ‘태하(울릉도의 북서쪽)’에서 ‘도동(울릉도의 남동쪽)’으로 이전한 후로 현재까지 도동이 울릉도의 행정, 교통, 문화, 관광의 중심지 역할을 담당하고 있다. 도동·저동에는 군청 외에도 우체국, 경찰서 등의 관공서 및 금융기관이 밀집되어 있으며, 각각 포항·목호, 강릉을 잇는 여객선의 기중점으로 해상 교통의 관문이다. 최근에는 도동항 게이트웨이 기반정비사업을 통해 기존 노후된 여객선 터미널 철거 후 새로운 여객선터미널을 신축하고 출항 시 혼잡을 줄이기 위해 인도교인 ‘울릉관문교’를 설치한 바 있다. 도동 여객선 터미널에

는 관광안내소 및 주차장, 울릉군 종합 관광안내판이 있고, 도동 해안산책로 입구가 계단을 통해 연결되어 있어, 관광객들이 산책로에 진입하기 용이하다. 저동 해안산책로 인근의 저동 여객선 터미널에도 관광안내소, 문화관광해설사의 집, 주차시설이 완비되어 있다.

도동과 저동을 따라 형성된 해식애와 해식동 구간에는 철제교량과 난간을 설치하여 해안산책로에서 해안절경을 감상할 수 있다. 도동과 저동 해안산책로 사이는 흙길로 연결되어 있으며(그림 9a), 일부 구간은 대나무가 양쪽으로 자라고 있고(그림 9b) 수고가 높은 동백나무가 다수 분포하고 있어 독특한 경관을 자아낸다. 흙길은 행남등대와 이어지는데,

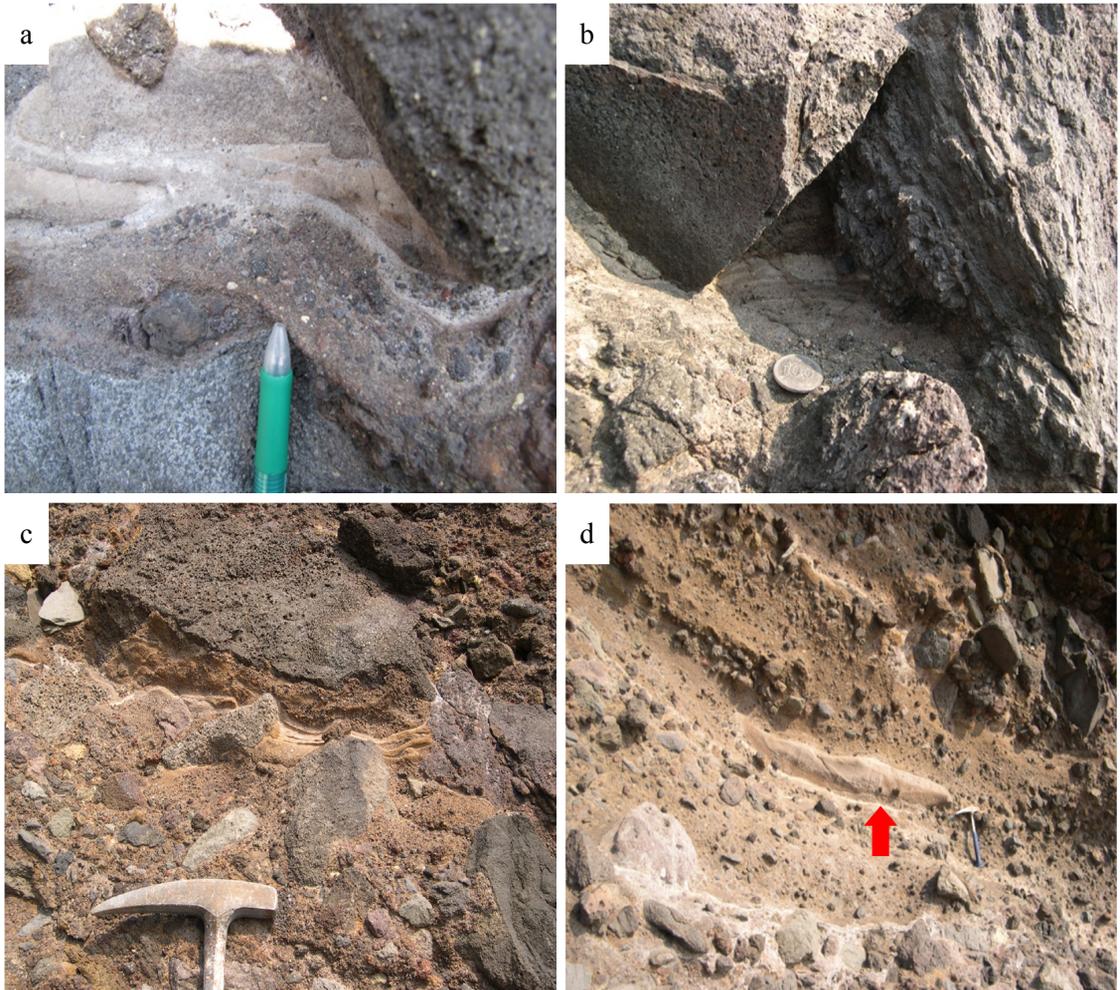


Fig. 6. Photos showing matrix-supported epiclastic rocks. (a), (b), (c) Laminated and wavy bedding. (d) Elongated sedimentary block composed of lapilli tuff (arrowed).

야외전망대에서는 저동 해안산책로의 경관을 한눈에 볼 수 있다(그림 9c). 저동 해안산책로와 흙길을 잇는 지점은 해식애의 발달로 인해 경사가 거의 수직에 이르기 때문에 나선형의 좁은 계단을 통해 오르내릴 수 있는 STS (spiral staircase system) 나선원형식 계단, 일명 소라계단이 설치되어 있다.

도동·저동 해안산책로에는 방향안내판 등 각종 안내판이 설치되어 있고, 지질학적 특징이 두드러진 곳에는 주안내판, 표찰 등 국가지질공원 설명표지판을 설치하여 관광객들의 이해를 돕고 있다(그림 9d). 도동 해안산책로에서 흙길로 들어서는 곳 벽면에는 KBS '1박 2일' 프로그램에서 방송했던 내용을 타일로 꾸며놓아 관광객들의 흥미를 유발하고 있고(그림 9e), 지압길도 조성되어 있다. 산책로에는 일정 간격으로 가로등이 설치되어 있어 야간에도 산책로를 이용할 수 있다. 도동 해안산책로는 LED 가로등을 설치하여 지질공원 로고와 지질명소 사진을 부착하였다(그림 9f). 산책로의 넓은 공터 곳곳에는 쉼터를 조성하여 여유롭게 지질관광을 즐길 수 있는 여건을 마련하였다. 지질명소의 관리·운영은 울릉군의 관리조례에 따르며, 2013년 8월, '울릉도·독도 지질공원 관리 및 운영에 관한 조례'가 제정됨에 따라 지질명소를 체계적으로 관리 중이다. 지질명소 내 교량, 난간, 계단, 가로등, 쉼터 등의 관광객 편의시설은 훼손여부 파악 및 기상악화 시 파도, 낙석으로 인한 사

고예방을 위한 통제 등의 지속적인 안전관리를 시행 중이다.

울릉도·독도 국가지질공원에는 총 9개의 천연기념물이 있으며, 그 중 천연기념물 제51호인 울릉도 동 섬개야광나무와 섬맹강나무 군락은 도동 해안산책로 입구의 산 능선부에 위치한다. 이곳 인근에는 후박나무, 향나무 등의 다양한 식생경관을 관찰할 수 있고, 특히 여객선터미널 뒤편 능선에 위치한 높이가 4 m, 줄기둘레 5 m, 수령 2000년인 향나무의 경우 산림청 녹색사업단의 측량결과 세계에서 가장 오래된 향나무로 알려져 있다. 이 외에도 산능선부에 존재하는 식생에는 섬맹강나무, 섬개야광나무, 섬피불나무, 왕매발톱나무, 섬쥐똥나무, 보리밥나무 등이 있으며, 경사가 비교적 완만한 지역의 색생은 우산고로쇠, 섬뽕나무 등이 혼생하는 곰솔군락이 분포하며, 하층부는 섬나무딸기, 동백나무, 섬쥐똥나무, 말오줌나무 등의 관목층과 섬바디, 털머위, 주름조개풀, 송악, 오루발, 실새풀, 새콩, 큰기름새, 울릉미역취 등의 초본층이 존재한다(Park and Lee, 2012).

4. 토 의

4.1 화산활동의 특징

연구지역의 종합적인 화산층서는 다음과 같다. 해수면 위 하부로부터 자가각력용암층, 하이알로클

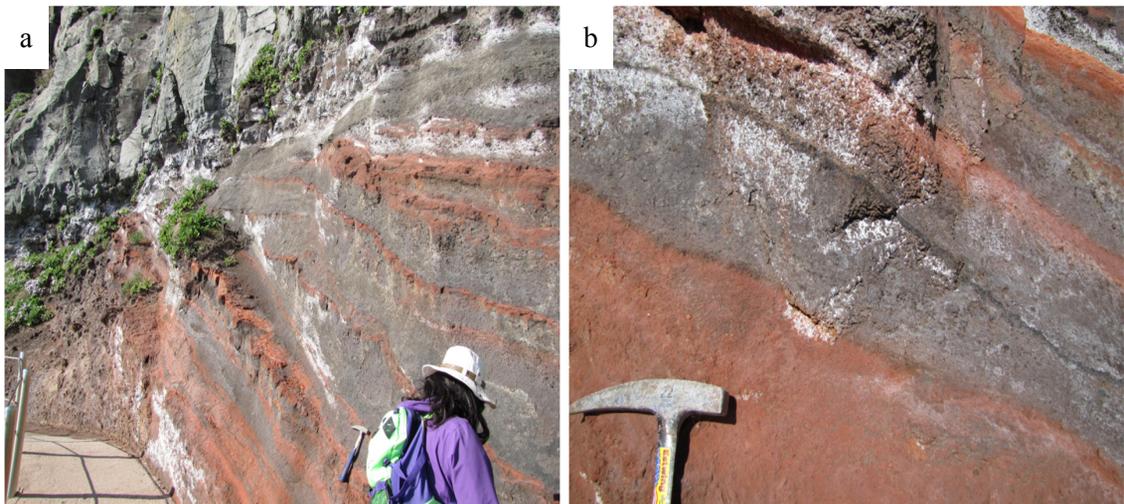


Fig. 7. Reddish tuff to lapilli tuff. Bedding in the higher part of the section flattens out rapidly to the right and is locally back-tilted (to the left).

래스타이트 및 베개각력암을 포함하는 베개용암층, 자가각력용암층과 베개용암층을 관통하는 염기성 암맥, 곳곳에 응회암류를 포함하며 블록기 용암과 교호하는 현무암질 화산각력암층, 화산휴지기 동안 복성각력이 재퇴적되어 생성된 재퇴적 쇄설암층, 적색 응회암 내지 라필리응회암층과 피아메를 포함하고 있는 용결응회암층이 있으며, 이들은 상부 조면암층과 부정합 관계이다. 본 연구에서는 각 암상의 특징을 한 눈에 볼 수 있도록 주상도를 작성하였고 (그림 10, 11), 암상별 화산학적 해석을 통하여 화산형성 환경을 해석하였다.

자가각력용암, 베개용암, 염기성 암맥, 화산각력암이 생성될 당시의 수증환경이었음을 지시한다. 자가각력용암, 화산각력암은 성인적인 분류로서 형태학적으로는

아아용암으로 분류되는데, 흔히 아아용암은 과상 혹은 스코리아성 암편을 의미하는 '클링커'라고도 부르며 (Loock *et al.*, 2010), 형태학적으로 파편화된 흐름 (clinkery)으로서 거친 표면을 가지고 있는 현무암질 용암이다(MacDonald, 1953). 이들은 천천히 흐르면서 표면이 굳어 깨지는 자가각력화(autoclastization, 균열파쇄) 작용에 의해 그 자체의 각력암인 클링커를 생산하게 되는데, 이러한 각력화 방식에는 세 가지가 있다. 용암 표면에서 롤오버(roll over) 기저 각력을 생산하는 아아 각력화('a'a fragmentation), 물과 용암의 상호작용으로 인해 기저 클링커를 형성하는 수증마그마 각력화(phreatomagmatic fragmentation), 기저의 단순 전단 동안 취성 각력에 의해 형성되는 단순 전단 취성 각력화(simple shear brittle fragmen-

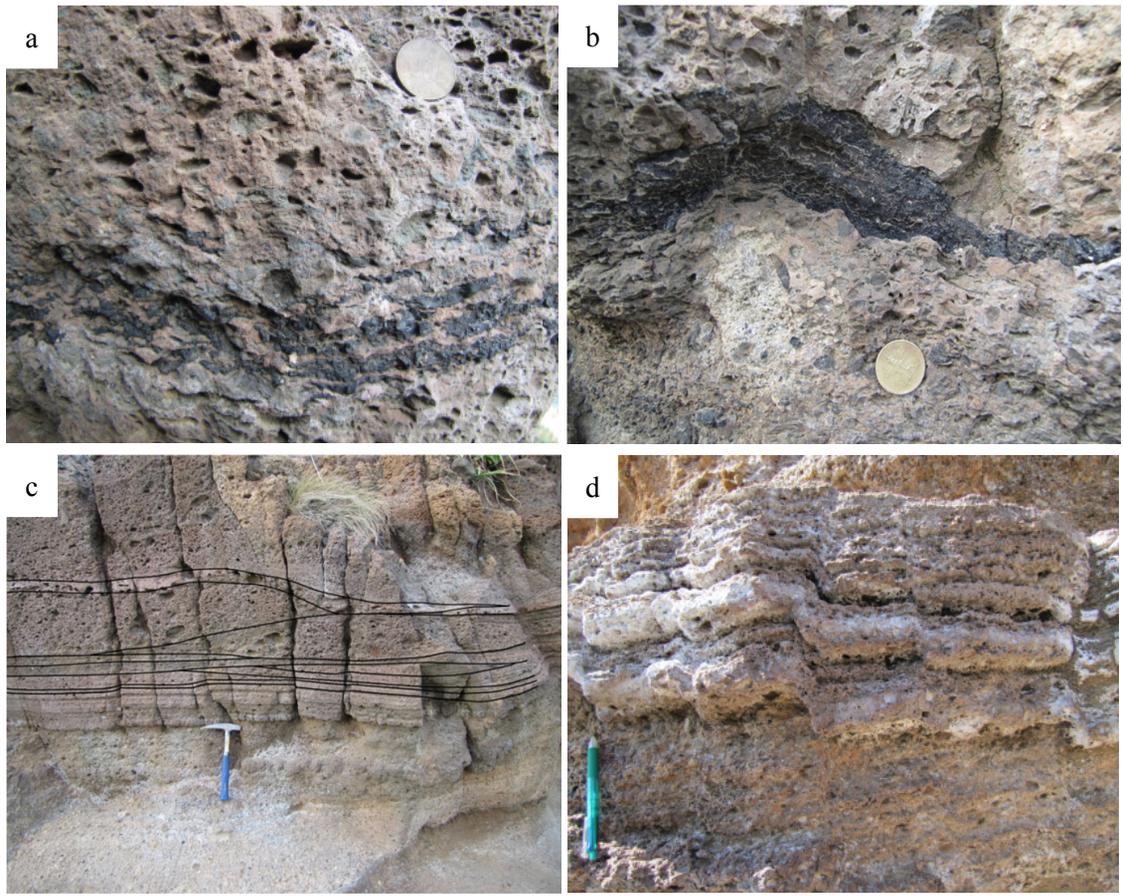


Fig. 8. Outcrops of ignimbrite. (a) Fiamme have length:width ratios of 68:2, parallel to bedding in ignimbrite. (b) Obsidian fiamme in ignimbrite. The fiamme is dark glassy lenses formed by welding compaction of juvenile pumice clasts. (c) Cross bedding in ignimbrite. Hammer is 32 cm long. (d) Kink fold. Pen is 15 cm long.

tation)이다(Loock *et al.*, 2010). 자가각력용암 내 협재된 2 개의 응회질 퇴적층이나 화산각력암 내 얇은 응회암 내지 라필리응회암층은 용암의 각력화작용으로 생성된 균열파쇄 퇴적물로부터 기인한 것이다. 균열파쇄 퇴적물은 화성쇄설성 분출과는 달리 비폭발성 과정으로서 용암이 흐를 때 용암 표면이 대기나 물과 접촉하여 식어지며 균열이 생기는데, 이러한 균열에 의해 용암이 각력화되어 형성된 것이다. 퇴적층은 분출의 휴식기와 관련되는데, 일부 퇴적층 내 휘석이 신선하며 자형으로 나타나는 것으로 보아 퇴적물이 급속히 운반, 퇴적되어 매몰된 것으로 볼 수 있다. 한편 화산각력암층의 역들 틈새를 채우고 있는 응회암 내지 라필리응회암 내 층리는 용암 파편에 의해

교란된 구조가 특징인 페퍼라이트(peperite)를 보인다. 이러한 사실은 함수 상태의 미고결 퇴적물에 대한 마그마의 비폭발성 급랭 파편화(non-explosive quench fragmentation)를 의미한다(White and Busby-Spera, 1987; Hanson, 1991; Hanson and Wilson, 1993; Mcphie *et al.*, 1993). 한편 화산각력암 내 역들의 가장자리가 불규칙한 것은 격렬한 폭발로 인한 아아각력화 작용으로 형성된 역들에 뜨거운 용암이 흘러 역들의 외연부가 열변질작용을 받아 이들의 가장자리가 용식되었기 때문이다.

베개용암은 흔히 0.5~2 cm 가량의 검은 유리질 껍질(glassy rind)을 가지며, 국부적으로는 직경 1 m 이상의 대형베개용암이 나타나는데, 이는 현무암질



Fig. 9. Geotrails of Dodong and Jeodong seaside walkway (a) Soil trail to the Hangnam lighthouse. (b) Bamboo trail. (c) Panorama of Jeodong seaside walkway viewed from a trail to the Hangnam lighthouse. (d) Signboard of the Ulleung·Dokdo national geopark. (e) Mural trail of the 1 Night 2 Days. (f) LED light at seaside walkways.

마그마가 해양에서 분출했음을 의미한다(Goto and McPhie, 2004). 베개용암과 그 주위의 동심원과 방사상의 질리를 따라 존재하는 결정질 현무암편인 베개각력암과 하이알로클래스타이트는 베개용암이 생성됨과 동시에 베개용암 껍질이 비폭발성 급랭 파쇄 작용에 의해 입자화되어 생성된 것이다(Dickinson *et al.*, 2009). 베개각력암은 특히 베개용암의 앞부분이 중력에 의해 붕괴되거나, 사면에서 사태로 인해 완전히 냉각된 베개용암의 취성파괴에 의한 것이다(Jones, 1970; Moore, 1975; Cas *et al.*, 2003). 베개용암의 외곽부, 각력암의 기질부, 자가각력용암 내 퇴적층은 현무암질로서 흔히 팔라고나이트화(palagonitization)를 겪었음을 보여준다. 팔라고나이트는 현무암질 마그마가 물과의 접촉으로 인해 급랭될 때 형성되는 옅은 갈색 내지 붉은색을 띤 갈색 유리질의 sideromelane이 수화 작용과 이온교환작용으로 인해 옅은 노란색 내지 노란갈색의 유리질로 변질되면 생성된다고 알려져 있다(Peacock and Fuller, 1928; Moore, 1966; MacDonald, 1972; Kawachi *et*

al., 1983). 자가각력용암 및 베개용암을 관통하는 암맥들은 염기성 암맥의 연변부에 흔히 발달하는 냉각대에는 암흑색의 유리질 타킬라이트(tachylite)가 산출한다. 타킬라이트의 산출특징은 울릉도 하부층인 현무암집괴암층의 대부분이 수증환경에 있었거나, 최소한 해수에 포화되어 있었음을 지시하는 또 다른 증거이다(Bae *et al.*, 2012).

화산각력암층은 점이적으로 재퇴적 쇄설암층으로 변해 가는데, 수증환경에서 화산각력암이 생성된 후 화산휴지기 동안 재퇴적 쇄설암이 형성되었다. 현무암질 용암의 분출 에피소드가 끝난 후, 기존의 화산쇄설성 퇴적물이나 용암의 표면에서 파쇄작용(fragmentation)이 발생하고 화산체 사면의 붕괴와 암설로 인해 생성된 암편들이 화산체 사면을 따라 재동 및 재퇴적되는 과정을 겪은 것이다. 이러한 사실은 대체로 괴상이 특징적인 재퇴적 쇄설암층 내 암편들이 일부 구간에서는 비늘모양처럼 경사방향과 평행하여 배열하는 임브리케이션(imbrication)을 통해 알 수 있다. 또한 암편의 불규칙한 원마도는

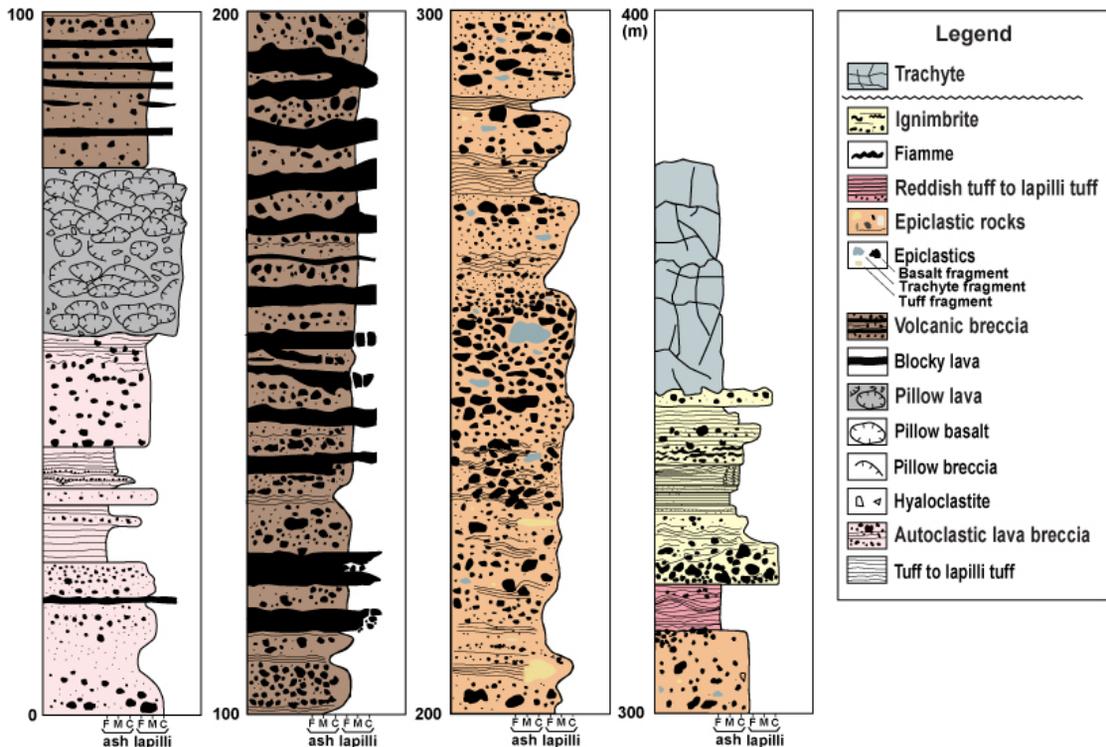


Fig. 10. Schematic stratigraphic columnar section of Dodong.

암설(debris)이 기존의 근원지에서부터 급격하게 유수에 의해 이동되어왔음을 의미한다. 상대적으로 조립 암편이 높은 밀도의 세립질 미립자로 이루어진 기질 내에서 부유되는 복성각력의 특징은 해저암설류(submarine debris flows)에서 퇴적되었음을 지시한다(Middleton and Hampton, 1976; Lowe, 1982; Fisher, 1984; Smith and Lowe, 1991). 재퇴적 쇄설암을 이루는 암편이 조면암, 현무암, 응회암, 라필리 응회암 등의 다양한 기원의 암석으로 이루어진 것은 이미 여러 번의 화산분출과 다양한 조성을 갖는 마그마 활동이 있었음을 지시하는 것이다. 즉 현무암질 집괴암층 형성 이전에 울릉도 화산체에는 이미 다양한 화산암이 광범위하게 존재하고 있었음을 의미하며, 이와 같은 사례는 해산에서부터 형성되어 현무암질 분출이 특징적인 하와이에서도 흔하다(Lockwood and Hazlett, 2010). 대개 분급이 불량

하고 뚜렷한 층리는 드물지만, 일부 구간에서는 분급이 좋고 뚜렷한 층리를 가지는데, 이러한 사실은 수중에서 암설류(debris flows)에 의해 퇴적된 것으로 해석된다. 일부 구간만 뚜렷한 층리가 나타나는 까닭은 재퇴적 쇄설암이 형성되는 동안 지지수의 영역이 다양한 높이를 가지면서 생성되었음을 의미한다(McGarvie *et al.*, 2007). 또한 암편 사이의 틈에는 미세입자의 엽층리(lamina)가 발달하는데, 이는 미세립질 퇴적물들이 역들 사이에 갇히게 되면서 서서히 퇴적되었음을 나타낸다. 이때 유체흐름이 방해받아 난류로 바뀌면서 발생하는 소규모의 소용돌이로 인해 미세한 교란이 발생하여 파동층리로 나타나게 되고, 암괴의 하중으로 엽층리는 더욱 교란된다.

충분한 휴지기를 거친 후 화산활동은 육상환경에서 강렬한 화산분출을 하였는데, 적색 응회암 내지 라필리응회암이 화산체 사면을 따라 쌓이고, 점점

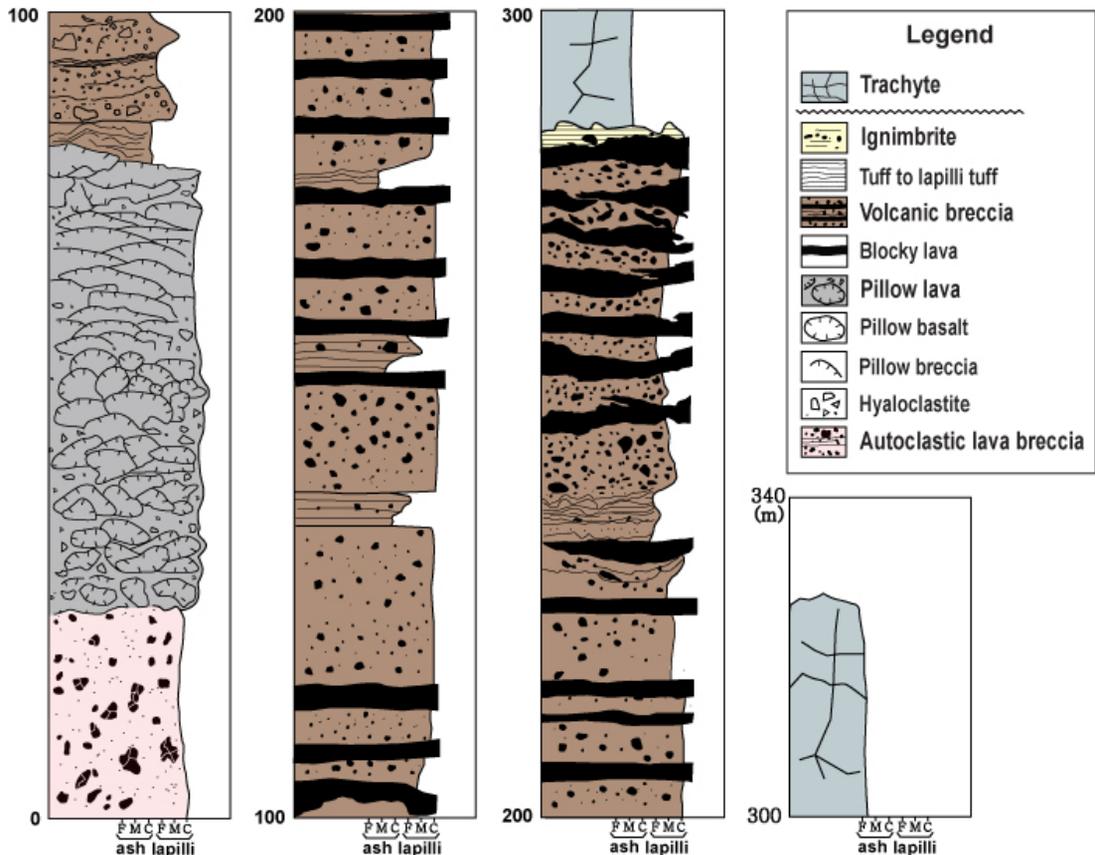


Fig. 11. Schematic stratigraphic columnar section of Jeodong.

경사가 완만해져 5°에 가까운 완만한 경사를 이룬 후 용결응회암이 형성되었다. 이 과정에서 울릉도 화산체는 점차 완만해지면서 해수면위로 올라오게 되었다. 최후기에는 라필리 응회질 화산쇄설물이 분출하여 고온에서 사면을 따라서 퇴적되었다. 특히 용결응회암 내에서 흔히 관찰되는 킹크습곡은 연성 전단대(ductile shear zone)와 유사한 형태로서 고화되지 않았을 때 발생하였다. 이는 특히 화산체의 함몰에 의한 정단층과 관련되는데 습곡측면의 일부는 정단층면으로 나타나며, 정단층의 상반 방향은 현재 울릉도 중심방향과 거의 일치한다. 용결응회암 층에서 평평한 지형에 쌓인 화산쇄설물에 괴상의 역과 층리, 사층리, 파동층리의 존재는 기저써지(base surge)에 의한 것이다. 기저써지(base surge)는 화쇄물로 이루어진 저밀도 흐름으로서 고농도 흐름인 화쇄류(pyroclastic flow)와 구분된다(Sparks and Wilson, 1976; Sohn and Chough, 1989). 특히 피아메와 흑요석이 협재되는데 이는 써지화쇄류가 고온 상태동안 압착 및 잠열에 의하여 형성된 것이다. 용결응회암 형성 이후 휴지기를 거쳐 조면암 I 이 다량 분출하였다.

4.2 지오사이트로서 활성화 방안

연구지역의 저동 해안산책로-행남등대와 흥길-도동 해안산책로 2.7 km 구간은 지질관광·교육을 위한 최적의 장소로서 지오투레일로 활용 중이다. 현재는 2013년에 지질공원사무국 위탁교육을 통해 양성한 15명의 지질공원해설사 중 2명이 도동·저동 관광안내소에 각각 상주하여 해설대기요청을 받고 있다. 또한 지역 초·중·고교생, 학부모, 교사를 대상으로 실시 중인 지질교육 프로그램의 현장교육에도 이 구간이 포함되며, 실내교육은 지질전문가가 전담하고 현장교육은 지질공원해설사가 도맡고 있다. 울릉군에서 한국관광공사에 의뢰하여 시행 중인 '울릉도 생태관광 체험프로그램 개발연구'에서 이 지오투레일 코스의 철제교량의 색깔이 '빨-주-노-초-파'임에 착안하여 '울릉도 쌍무지개 체험'이라는 명칭의 체험프로그램을 제안한 바 있으며, 이를 지오투레일 코스 홍보에 적용하여 관광객들의 흥미유발에 도움이 될 것으로 보인다.

도동의 해안산책로는 도동항을 중심으로 좌안도로와 우안도로로 나누는데, 본 논문에서 언급한 지질

명소인 '도동 해안산책로'는 좌안도로에 위치한다. 우안도로는 사동항까지 연결되는 코스이지만 현재는 5분정도의 짧은 거리를 제외하고는 산책로 미조성으로 인해 미개통 구간이다. 우안도로가 완공되면 지오투레일 코스를 저동 해안산책로부터 사동항 구간까지 확장할 수 있다. 사동항은 천연기념물 제237호인 울릉사동 흑비둘기 서식지가 있고 해수욕장 시설이 구비되어 있어 여름철 캠핑 장소로도 각광받는 곳이다. 사동항은 식물원과 인접하며 2014년 완공예정인 '지질생태탐방객센터'가 건설될 장소인 (사동) 신항과 관광연계를 도모할 수 있는데, 신항은 울릉공항 건설 확정 장소이므로 해안산책로는 향후 접근성이 더욱 우수한 지질명소로 자리매김할 수 있을 것으로 보인다. 또한 신항에서는 독도순행 여객선이 취항 중이므로 지오투레일 코스를 독도까지 연장할 수 있다.

또한 도동·저동 해안산책로의 최대장점은 울릉도의 행정, 교통, 문화, 관광의 중심지로서 숙박시설, 음식점, 상점, 주변 유명관광지와 인접하고 있다는 점이다. 도동·저동 해안산책로는 또 다른 지질명소로서 3단폭포로 유명한 봉래폭포와 인접하며, 인근에는 죽도와 저동 해안산책로가 내려다보이는 내수전전망대, 맑은 날 독도를 볼 수 있는 독도전망대 등의 조망점이 있고, 내수전몽돌해수욕장이 있다. 또한 약수가 알칼리탄산철 성분이 풍부하여 위장병, 빈혈, 류머티스성 질환 등에 효과가 있다고 알려진 도동약수공원과 내수전약수터가 있으며, 울릉둘레길 중 하나인 석포옛길이 있다. 도동 향나무와 성인봉을 볼 수 있는 여객선터미널 옥상의 환송공원, 도동항이 내려다보이는 도동 소공원 등의 휴양시설이 있으며, 독도의 역사와 자연을 배울 수 있는 독도박물관, 울릉도의 과거 생활사를 엿볼 수 있는 향토자료관, 역사문화체험센터로 사용 중인 일본식가옥 등의 전시관이 있다. 또한 도동항과 저동항에서는 북동쪽에 위치한 울릉도의 부속섬인 죽도와 울릉도 북면의 선창을 향하는 배를 탈 수 있으며, 해안일주도가 완공되면 선창을 향하는 배 대신 차로 울릉도를 한 바퀴 돌 수 있어 관광 잠재력이 큰 지질명소이다.

이와 같이 도동·저동 해안산책로는 현재 지오투레일 코스로 활용 중이나 향후 사방으로 확대하는 방안을 고려할 수 있다. 향후 우안도로 건설로 인한 지오투레일 코스 연장을 포함하여, 본 지역의 지질 관광은 항공 및 배편을 통한 울릉도 입도의 접근성

항상, 해안 일주도로 건설로 타 지질공원과의 연결성 강화, 전시관을 통한 울릉도의 역사와 문화의 간접적 전달, 저동항의 오징어잡이 생활사와 어판장 체험 등과 연계할 수 있다. 울릉도·독도 국가지질공원에는 현재 지질공원 리플렛과 지질공원 소책자가 있으며, 도동·저동 해안산책로를 소개한 별도 홍보물을 발간하여 관광객들이 보다 상세한 정보를 얻을 수 있도록 준비 중에 있다.

또한 지질관광 안내를 위한 스토리텔링 개발을 통해 관광안내소 직원, 지질공원해설사, MOU 체결 관광운수업체 등 지역 내 주민들에게 교육을 실시할 필요가 있다. 현재 설치되어 있는 지질공원 안내판을 지속적으로 점검, 보수하고, 사동 및 저동 해안산책로를 통해 입도하는 관광객들에게도 울릉도·독도 국가지질공원을 한 눈에 파악하여 효과적인 여행을 도모할 수 있도록 2014년에 종합안내판을 추가 설치할 예정이다.

4.3 지오투레일

도동·저동 해안산책로는 접근성이 뛰어나지만 아니라 수려한 자연적 조건을 지니고 있어서 울릉도·독도 국가지질공원의 지오사이트에 속하며 도동

해안산책로-행남등대 및 흙길-저동 해안산책로 코스는 지오투레일로 가장 활용성이 높다(그림 12). 현재 도동과 저동의 지오투레일에는 안내판이 각각 10개씩 설치되어 있다. 지오투레일은 도동 여객선터미널에서부터 시작되는데(그림 12a), 종합안내판을 통해 여행 계획을 세운 후 도동 관광안내소에서 홍보물을 얻고 지질공원해설사 요청을 할 수 있다. 환송공원에서 성인봉 및 세계에서 가장 오래된 향나무를 감상한 뒤 본격적으로 ‘울릉도 쌍무지개 체험’길을 걸으며 해안절경 감상과 함께 화산활동의 특징에 관한 해설을 들을 수 있는데, 주오테마는 다음과 같다.

현재 이 일대는 해수면 위 하부로부터 자가각력용암(그림 12b), 베개용암(그림 12c), 화산각력암(그림 12d), 재퇴적 쇄설암(그림 12e), 화산쇄설암(그림 12f, 12g), 조면암(그림 12g) 등과 같이 다양한 화산암 내지 화산쇄설암류를 구성하고 있다. 이들이 생성될 당시 화산활동사는 이곳의 수려한 해안경관과 지오투레일에서 관찰할 수 있는 각종 화산학적 특징과 밀접히 관련되므로 이를 정리, 요약하여 관광객에게 소개할 필요가 있다. 즉 이 일대는 비폭발성 얇은 해저환경에서 폭발성 육상환경으로 점차 변화하였으며 그 과정에서 휴지기가 한차례 있었다. 얇은 해저 환경에서



Fig. 12. Geotrails and observatory points. (a) Passenger terminal: oldest juniper in the world and Seonginbong peak observatory. (b) Autobreccia. (c) Pillow lava. (d) Observatory for tafoni of (c), with alternation of breccia and blocky lava. (e) Epiclastic deposit. (f) Reddish tuff or lapilli beds. (g) Unconformity of ignimbrite and upper trachyte. (h) (i) Rest areas. (j) Forest trail. (k) The Hangnam lighthouse and the outdoor observatory. (l) STS spiral staircase. (m) Pillow lava. (n) Observatory for Chotdaeam rock and Jeodong port.

화산활동이 일어났을 당시, 현무암질 마그마가 상승함에 따라 압력이 감소하면서 가스의 빠른 용리 발생 혹은 물과의 상호작용으로 인해 마그마의 폭발적인 파쇄작용으로 각력암류와 각력암층 내 응회암 내지 라필리응회암층을 형성하였다. 베개용암의 외곽부, 화산각력암의 기질부, 자가각력용암 내 퇴적층에서 나타나는 팔라고나이트는 수중에서 급격하게 냉각되는 과정에서 수화작용을 겪어 형성된 것이다. 화산 휴지기에는 기존 화산체가 붕괴되어 해저 암설류에 의해 재퇴적 쇄설암이 생성되는데, 다양한 암석을 역으로 포함하고 있는 것으로 보아 연구지역의 화산층들이 생성되기 이전에도 울릉도는 이미 현무암질 용암류 이외의 타 종류의 암석이 함께 존재하던 복합화산체로서 상당히 진화된 화산이었음을 알 수 있다. 그 후 화산폭발이 육상환경에서 재개하는데, 마그마의 진화로 인해 화산체는 격렬한 폭발성으로 변화하였고 그 결과물로 적색 응회암 내지 라필리응회암과 용결응회암을 형성하였다. 용결응회암은 괴상의 역과 층리, 사층리, 파동층리를 가지는 기저찌지로서 용결응회암 내 발달하는 킹크스곡, 피아메, 흑요석은 고온상태를 유지하는 동안 발생하므로 이들은 육상 환경에서 형성되었을 것이다.

도동 해안산책로 끝 부분(그림 12h)과 저동 해안산책로 사이에서 저동으로 넘어가는 오르막 주변에 조면암과 부석층이 발달한다. 이 일대의 갈대숲 사이에 조성된 지압길과 넓은 쉼터에서는 휴식을 취하면서 해안을 조망할 수 있다(그림 12i). 대나무가 양쪽으로 펼쳐진 숲길을 거쳐 행남등대로 향하는 흙길에서는 다양한 식물에 관한 정보를 얻을 수 있고(그림 12j), 식생이 발달하는 토양단면에서는 부석층을 쉽게 발견할 수 있다.

행남등대 전망대에서는 저동 해안산책로의 전경과 저동항구 일대를 한 눈에 감상할 수 있다(그림 12k). 이곳 행남등대 전망대를 비롯하여 곳곳에는 저동의 전경이 잘 보이는 포토존이 설치되어 있어서 사진, 영상으로 추억을 남길 수 있다. 저동으로 내려가는 해안절벽에는 표고차가 57 m에 이르는 일명 소라계단이라 불리는 STS나선원형식 계단이 설치되어 있는데, 계단을 따라 내려가면서 해안절벽에 펼쳐져 있는 용암층과 각력암층을 관찰할 수 있다(그림 12l). 저동 해안산책로에서는 도동 해안산책로에서와 마찬가지로 다양한 각력암 및 베개용암(그림

12m)을 볼 수 있다. 지오펠레일의 마지막 지점인 저동항 입구(도동기준)에서는 울릉도의 대표적인 일출명소인 촛대암의 전설을 들을 수 있는데, 촛대암은 일종의 시스템이다. 저동항에서는 우리나라 대표적인 울릉도오징어잡이 이야기를 들으며 지오펠레킹 코스는 마무리된다(그림 12n).

5. 결론

울릉도·독도는 국내 대표 화산섬으로서 지질학적 유산이 풍부하여 지질공원으로서의 가치를 인정받아 2012년 12월에 국내 최초로 국가지질공원이 되었다. 울릉도·독도 국가지질공원에는 총 23개의 지오사이트가 있는데, 울릉도의 남동쪽에 위치한 도동·저동 해안산책로는 울릉도·독도의 관문으로서 접근성이 가장 우수한 지질 관광지이다. 이는 울릉도 초기 화산활동의 산물과 더불어 해안침식에 의한 지형경관을 잘 관찰할 수 있다는 점에서 가장 대표적인 지오사이트이다. 본 연구지역 일대의 암상은 하부로 부터 자가각력용암, 베개용암, 화산각력암, 재퇴적 쇄설암, 화산쇄설암, 조면암 등과 같이 다양한 화산암 내지 화산쇄설암류로 구성된다. 울릉도 도동·저동 해안산책로의 2.7 km 구간은 지질공원해설사의 해설과 함께 지오펠레일 코스로 적절할 뿐만 아니라, 다양한 화산활동 산물 및 생물 등 우수한 지질유산을 지니고 있어서 대중들에게 지질관광 및 교육장소를 제공할 수 있다. 이곳 지오사이트는 향후 도동·저동의 다양한 관광유산과 결합하거나, 북쪽으로 내수전, 석포옛길, 섬목, 선창, 관음도, 죽도 구간, 서쪽으로 사동항, 신항, 혹은 북서쪽의 성인봉에 이르기까지 다양한 지오펠레일 코스를 확장할 수 있다. 향후 지질명소별 홍보물 제작, 안내판의 제작과 보수, 지질생태탐방객센터의 활성화 등과 같은 체계적인 지질공원 관리, 운영을 통하여 도동·저동 해안산책로를 비롯한 울릉도·독도 국가지질공원의 지질명소를 활성화시킬 수 있을 것이다.

사 사

이 논문초교의 부족한 점에 대하여 유익한 비평을 해 준 전북대 양우현 교수님과 익명의 심사자, 그리고 논문의 총체적인 방향과 개선점을 제시해 준

경상대학교 손영관 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

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).
- Batiza, R. and White, J.D.L., 2000, Submarine lavas and hyaloclastite. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (eds.), *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, CA, 361-381.
- Cas, R.A.F., Yamagishi, H., Moore, L. and Scutter, C., 2003, Miocene submarine fire fountain deposits, Ryugasaki 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.
- Dickinson, J.A., Harb, N., Portner, R.A. and Daczko, N. R., 2009, Glassy fragmental rocks of Macquarie Island (Southern Ocean): Mechanism of formation and deposition. *Sedimentary Geology*, 216, 91-103.
- Fisher, R.V., 1984, Submarine volcanoclastic rocks. In: Kokelaar, B.P., Howells, M.F. (Eds.), *Marginal Basin Geology: Volcanic and Associated Sediments and Tectonic processes in Modern and Ancient Marginal Basins*. Geological Society Special Publication, 16, 5-27. Blackwells Scientific Publications.
- 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.
- Hanson, R.E., 1991, Quenching and hydroclastic disruption of andesitic to rhyolitic intrusions in a submarine island-arc sequence, northern Sierra Nevada, California. *Geological Society of American Bulletin*, 103, 804-816.
- Hanson, R.E. and Wilson, T.J., 1993, Large-scale rhyolite peperites (Jurassic, southern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 247-264.
- Hwang, S.K., Ahn, Y.M., Jang, Y.D. and Kim, Y.B., 2011, Eruptive styles and processes of trachytic rocks in the southeastern Ulleung Island, East Sea, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 665-681 (in Korean with English abstract).
- Jones, J.G., 1970, Intraglacial volcanoes of the Laugarvatn region, Southwest Iceland II. *Journal of Geology*, 78, 127-140.
- Kawachi, Y., Pringle, I.J. and Coombs, D.S., 1983, Pillow lavas of the Eocene. Oamaru Volcano, North Otago: Pacific Science Congress, Dunedin, New Zealand, Guidebook for Excursion Bh 3, 18 p.
- Kim, K.H., 1996, Naming a Quaternary Jeodong Formation in the Jeodong area from the Ulreung volcanic island of the East Sea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 17, 383-390 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.K. and Lee, D.S., 1983, Petrology of alkali volcanic rocks in northern part of Ulreung Island. *Korean Institute and Mining Geology*, 16, 19-36.
- Lee, D.S., 1954, Geology of Ulleung island. *Natural Science Articles*, 1, Seoul National University, 199-207, (in Korean).
- Lockwood, J.P. and Hazlett, R.W., 2010, *Volcanoes-Global Perspectives*. Wiley-Blackwell, 539 p.
- Loock, S., van Wyk de Vries, B. and Hénot, J.M., 2010, Clinker formation in basaltic and trachybasaltic lava flows. *Bulletin of Volcanology*, 72, 859-870.
- Lowe, D.R., 1982, Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52, 279-297.
- MacDonald, G.A., 1953, Pāhoehoe, 'a'ā, and block lava. *American Journal of Science*, 251, 169-191.
- MacDonald, G.A., 1972, *Volcanoes: Englewood Cliffs*, New Jersey. Prentice-Hall, Inc., 510 p.
- McGarvie, D.W., Stevenson, J.A., Burgess, R., Tuffen, H. and Tindle, A.G., 2007, Volcano-ice interactions at Prestahnukur, Iceland: rhyolite eruption during the last interglacial-glacial transition. *Annals of Glaciology*, 45, 38-47.
- McPhie, J., Doyle, M. and Allen, R., 1993, *Volcanic textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks*. CODES Key Centre, Hobart, 196 p.
- Middleton, G.V. and Hampton, M.A., 1976, Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows. In: Stanley, D.J., Swift, D.J.P. (eds.), *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. Wiley, New York, 197-218.
- Min, K.D., Kim, O.J., Yun, S., Lee, D.S. and Kim, K.H., 1988, Applicability 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, Special ed., 11-40 (in Korean with English abstract).

- Moore, J.G., 1966, Rate of palagonitisation of submarine basalt adjacent to Hawaii. D163-71. US Geological Survey Professional Paper, no. 550-D.
- 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.
- Park, J.H. and Lee, E., 2012, Ecotour Guidebook of Ulleungdo-Dokdo. Gyeongsangbuk-do, 213 p (in Korean)
- Peacock, M.A. and Fuller, R.R., 1928, Chlorophaeite, sideromelane and palagonite from the Columbia River Plateau. *American Mineralogist*, 13, 360-83.
- Smith, G.A. and Lowe, D.R., 1991, Lahars: volcano-hydrologic events and deposition in the debris flow-hyperconcentrated flow continuum. In: Fisher, R.V., Smith, G.A. (eds.). *Sedimentation in Volcanic Settings*. SEPM Special Publication, 45, 59-70.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1989, Depositional processes of the Suwolbong tuff ring, Cheju Island (Korea). *Sedimentology*, 36, 837-855.
- 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).
- Sparks, R.S.J. and Wilson, L., 1976, A model for the formation of ignimbrite by gravitational column. *Journal of the Geological Society of Korea*, 132, 441-451.
- White, J.D.L. and Busby-Spera, C.J., 1987, Deep marine arc apron deposits and syndepositional magmatism in the Alisitos group at Punta Dono, Baja California, Mexico. *Sedimentology*, 34, 911-927.
- 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).

투 고 일 : 2013년 11월 14일

심 사 일 : 2013년 11월 19일

심사완료일 : 2014년 2월 10일