

## 울릉도의 화산층서와 단층에 대한 연구

김기범\* · 이기동

안동대학교 지구환경과학과

### A Study on Volcanic Stratigraphy and Fault of Ulleung-do, Korea

Ki-Beom Kim\* and Gi-Dong Lee

Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

울릉도 화산체의 지질과 지질구조 및 화산활동상을 연구하기 위해서 선행된 연구 자료를 수집하고 현장조사를 실시하였다. 울릉도는 동해 해저에서부터 약 3,000 m 높이의 화산체로 해수면 부근의 기저는 현무암질 집괴암이며 그 상위로 조면암질 집괴암, 조면암, 조면암질 부석과 조면안산암 순으로 분포하고 있다. 나리분지의 칼데라는 함몰에 의해 역삼각형의 단층이 나타나고 있고, 나리분지를 중심으로 북동-남서방향과 북서-남동방향의 단층들이 분포하고 있다. 신생대 제4기(Quaternary)의 울릉도 화산활동은 해수면 부근의 현무암질 집괴암 및 응회암 분출의 제1기, 조면암질 집괴암 및 응회암이 분출한 제2기, 조면암질 용암류의 분출의 제3기, 조면암질 부석이 분출한 제4기, 칼데라 내의 조면암질 안산암이 분출시기인 제5기로 구분하였다. 울릉도의 지질은 다양하고 복잡하여 지질공학 또는 응용지질분야에서 접근하기가 용이하지 않았다. 따라서 이번 연구에서는 울릉도 지질을 단순화하여 이들이 쉽게 활용할 수 있도록 자료를 제공하고자 하였다.

**주요어** : 울릉도 화산체, 칼데라, 현무암, 조면암, 화산활동

This study, geological survey was carried out in order to study on the geology, geological structure and volcanic activity of the Ulleung-do volcano body. Ulleung-do is the volcano body of about 3,000 m heights from the East Sea seabed. The geology of Ulleung-do is divided into basaltic agglomerate, trachytic agglomerate, trachyte, trachytic pumice and trachyandesite in ascending orders. The faults in caldera of Nari Basin came to make the reverse triangle style in compliance with sinking. The faults in circumference of Nari Basin are ranging with northeast-southwest direction and northwest-southeast direction. The Quaternary volcanic activities in the Ulleung-do are divided into 5 activity period. The engineering geologists and the applied geologists were not easy to apply because complicated geology of Ulleung-do. Therefore, this study supplied simple geology of Ulleung-do for them.

**Key words** : Ulleung-do volcano body, Caldera, Basalt, Trachyte, volcanic activity

### 서 론

한반도에서 화산활동에 의해 생성된 화산암들은 중생대 백악기에서 신생대에 걸쳐 분포하고 있으며 화산체로 이루어진 울릉도는 신생대 제3기 말인 플라이오세(Pliocene)에서 제4기 홀로세(Holocene)까지의 화산활동에 의해 형성되었다(진명식 외, 2005).

울릉도 화산활동 시기인 플라이오세(Pliocene)에서 홀로세(Holocene) 사이의 한반도 화산활동은 여러 곳에서

진행되었으며 대표적으로 독도, 제주도, 백두산, 철원 등지가 있다. 이들 화산 분포지역 중 한국관광의 중심지인 제주도의 화산활동에 관해서는 많은 지질학자들에 의해 연구가 진행되었다. 독도 또한 최근 국제적으로 관심이 증대되었지만 울릉도는 상대적으로 지질학적인 연구가 많이 이루어지고 있지 않는 지역으로 일반적인 수준에 그치고 있는 실정이다.

그러나 최근 들어 울릉도의 관광객이 증가하고 있으며 새로운 항만을 조성하고 관광지를 개발하는 등 관광

\*Corresponding author: kgb004@andong.ac.kr

자원으로서의 가치가 높아지고 있는 현 시점에서 울릉도 화산체에 대한 적극적인 지질학적 연구는 꼭 필요한 과제이며 한반도의 화산활동상의 규명에도 필요한 것이다. 따라서 본 연구는 현재까지 조사되어 있는 울릉도의 지질학적 연구자료를 정리하고 금번에 조사된 야외 지질자료를 추가하여 울릉도의 지질과 화산체 화산활동 과정을 제시하였다. 이는 여러 차례의 화산활동에 의해 복잡하게 형성된 지질을 가능한 단순화하였으므로 지질공학 및 응용지질학 전공자들에게 울릉도의 일반지질자료로서 참고가 되기를 기대한다.

### 울릉도의 지형

행정구역상 경상북도에 속하며 본섬을 포함하여 총 43개의 섬으로 이루어져 있다. 울릉도에서 가장 가까운 육지는 경상북도 울진군 죽변면으로 130 km 거리에 있다. 울릉도는 부속도서까지 포함하여 72.82 km<sup>2</sup>의 면적으로 동경 130° 47' 37"~130° 56' 36", 북위 37° 27' 14"~37° 33' 09"에 위치하는 동해상의 화산섬이다. 섬은 불규칙한 오각형의 형태를 보이며 북동-남서방향의 장축은 약 12 km, 북서-남동방향의 단축은 약 8 km이고 섬의 둘레는 약 53 km, 가장 높은 곳은 성인봉으로 해발고도 983.6 m이다(Fig. 1).

울릉도를 이루고 있는 화산체는 풍화에 의해 초기 원형이 거의 파괴되었으나 화산활동의 후기에 형성된 칼데라와 용암분출에 의해 형성된 알봉은 원형을 그대로 보존하고 있다(권병두 외, 1995). 특히 화구의 함몰에 의해 형성된 칼데라의 외륜산은 본 섬에서 가장 높은 지형으로 남

측의 성인봉(983.6 m)에서 시계방향으로 미륵산(900.8 m), 형제봉, 송곳산(605.6 m), 나리령(780 m), 천두산(967.8 m)으로 이어지는 원형의 능선을 형성하고 있다.

칼데라 내부는 화구의 함몰이후 퇴적물들이 퇴적되어 현재 나리분지와 알봉분지로 불리는 퇴적분지가 형성되어 있으며 분지 외곽에는 함몰시 만들어진 경사가 급한 절벽들로 둘러싸여 있다. 또한 본 섬의 항구인 저동항, 남양항, 현포항, 추산항, 천부항 주변을 제외한 해안에는 높이가 10~70m 내외의 해식애 또는 해안단구가 나타나고 있어 울릉도 화산체 대부분이 험준한 지형을 보이고 있다.

울릉도는 해수면에서 약 1,000 m에 가까운 높이를 가지고 있는 화산체이며 울릉도 주변 동해의 수심이 약 2,000 m(국립해양조사원, 1998)에 이르고 있기 때문에 울릉도 화산체는 약 3,000 m의 높이이며 수심 2,000 m를 기준으로 화산체의 장경이 약 35 km에 이르는 규모가 대단히 큰 화산체이다. 원종관 외(1984)에 의하면 해저에서 수심 500m까지 Aspite형 화산을 이루나, 그 상부에서 해수면 위의 화산체는 Tholoide형 화산체를 형성하고 있으며 해수면에서 수심 1,500 m 사이에는 약 30여개의 기생화산들이 산재되어 있는 것으로 추정하고 있다.

### 연구사

울릉도 화산암체에 관한 지질학적 연구는 일제강점기 하에서 Tsuboi, S.(1920), Harumoto(1930, 1933), Tomita, T.(1934) 등에 의해 시작되었고 이후 이대성(1954), Harumoto, A.(1970), 김영기와 김상욱(1977), Tsuboi, S.(1980), 김윤규와 이대성(1983), 원종관과 이문원(1984), Kim(1985), 민경덕 외(1988), Yoon(1994), 김규한(1996), 송영선 외(2006) 등에 의해 진행되었다(김규한과 이대성, 1983; 원종관과 이문원, 1984; 권병두 외, 1995; 김규한, 1996). 이들은 암석기재, 화산층서, 지구 화학적 연구 및 알칼리화산암의 암석성인 해석 등을 연구하였다. 그리고 울릉도에 대한 지구물리학적 조사가 Lee(1987), 권병두 외(1995) 등에 의해 연구된 바 있다. 그러나 작은 규모의 개별적인 연구에 의해 울릉도 화산체에 대한 지질학적인 개념이 정립되어 있지 않다.

### 지질개요

울릉도 화산체의 대부분을 이루는 해수면 아래 부분에 대해서는 거의 관찰되지 않아 알려져 있지 않지만 현무암질암이 분포하고 있을 것으로 예측된다. 그리고

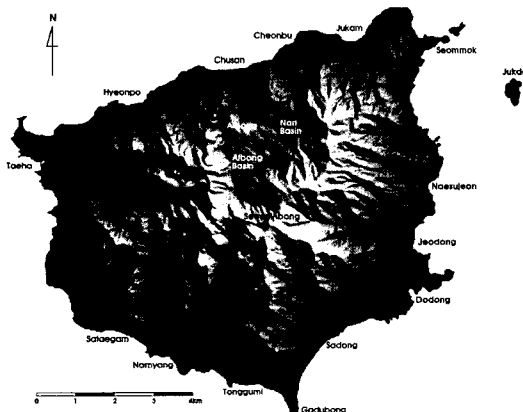


Fig. 1. Topography of Ulleung-do(used scale 1:25,000 digital topographic map).

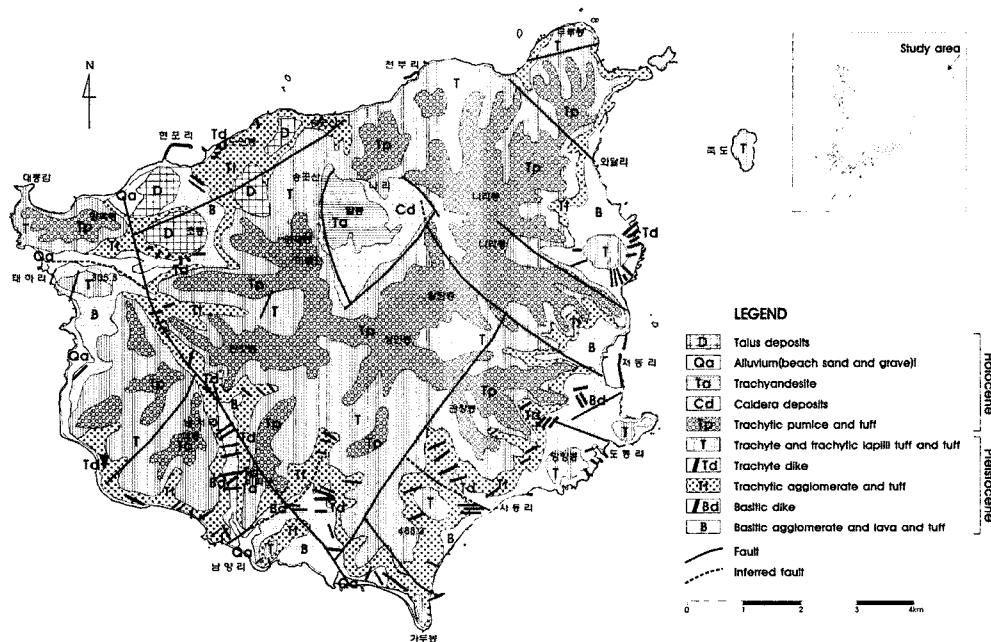


Fig. 2. Geological map of Ulleung-do (Applied geology of Ulleung-do, 1977; Yoon, 1994).

해수면 위에 드러난 부분은 섬의 둘레를 따라 일부지역에 현무암질 집괴암 또는 조면현무암질 집괴암이 퍼포하고 있으며 그 상부에 조면암질 집괴암이 분포하고 있다. 집괴암 위에 조면암질 용암층이 급경사의 산체를 이루며, 그 위에 조면암질 미고결 분출물인 부석층이 넓은 지역을 덮고 있다. 조면암질 분출물의 생성 이후에 만들어진 칼데라 내부에서 조면안산암이 분출하면서 칼데라 내의 퇴적분지를 북쪽의 나리분지와 남쪽의 알봉분지로 양분하고 있다. 울릉도의 지질과 지질구조를 도시한 지질도는 Fig. 2에 제시하였으며 김영기와 김상욱(1977)의 지질도를 참고하였고 지질구조는 Yoon(1994)의 지질도를 참고하여 수정 작성하였다.

### 지질각본

#### 현무암질암류

현무암질암류는 울릉도 해안 저지대와 해수면 아래에 분포하고 있으며 주로 현무암질집괴암 및 응회암으로 구성된다. 현무암질 암편을 포함하기도 하고, 기공을 함유하고 있는 경우가 많으며 육안으로는 암갈색의 반상조직을 보인다(Fig. 3). 본 암류의 분포는 Fig. 2 지질도에 도시된 바와 같이 저동리, 와달리, 도동리, 남양리 및 태하리 부근의 해안저지의 일부 지역에 분포하고 있지만

현 해수면 아래의 화산체는 전부 이들 현무암질암류 및 집괴암, 응회암 등의 염기성 분출암으로 사료된다.

현무암질 집괴암은 비교적 뚜렷한 층리를 보이고 있으며 대체로 해안쪽으로 급한 경사를 이루고 있다(Fig. 4). 김영기와 김상욱(1977)은 해안쪽으로는 경사가 염기성 분출암이 나리분지를 통로로 하는 중앙분출에 의해 형성되었음을 시사했으나 현재와 같은 급한 경사의 지형은 조면암질 용암에 의해 형성된 것이므로 이보다 빠른 시기에 급한 경사가 만들어 졌다는 것에 대해서는 좀 더 연구

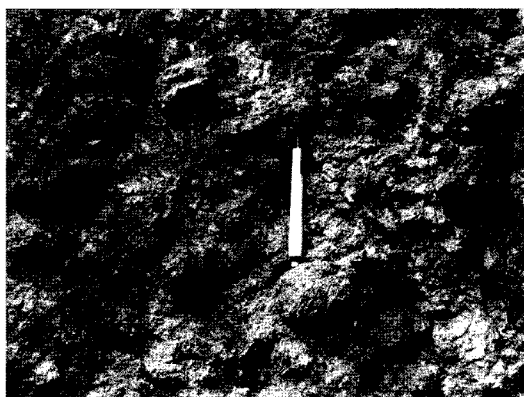


Fig. 3. Basaltic agglomerate at Dodong harbor.

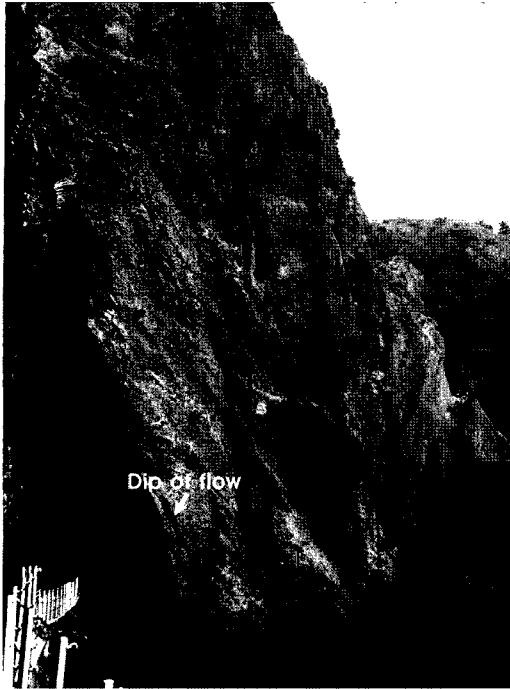


Fig. 4. Steep dip of basaltic agglomerate flow, coastal Dodong.

가 필요할 것으로 보이며 나리분지 외에 현재 해안가를 중심으로 소규모의 화구들이 산재했을 것으로 사료된다.

#### 암맥류

본 역에 발달되는 암맥류는 그 대부분이 조면질암이지만 현무암질 암맥 및 휘록암맥 등의 염기성 암맥류가 분포하기도 한다. 염기성 암맥류는 현무암질 분출암류 분포지에 국한하여 산재하며 남양리 동측에 산출되는 휘록암맥은 암회색을 띠고 반상조직을 잘 보여준다. 이들은 조면암질 집괴암, 조면암질암, 응회암 혹은 그 상위에 놓이는 암층들을 관입하고 있지 않으므로 조면암질 응회암류의 분출시기 이전에 관입하였음을 알 수 있다. 이는 현무암질 응회암류와 그 상위층인 조면암질 응회암류는 비정합적인 관계에 있음을 보여주고 있다.

그리고 조면암질 암맥류는 현무암질암류 및 조면암질 응회암류의 분포지역에 산재해 있으나 상위의 조면암질 암류는 관입하지 않는다. 이들의 경사는 수직에 가깝고 주향은 대체로 동서방향의 것이 우세하며 해안가의 저지나 계곡부에 많이 분포하고 있다(Fig. 2).

망향봉 정상부를 접하고 있는 조면암질암은 해안측에 노출된 조면암질 암맥(Fig. 5)과 연결되어 있는 것처럼

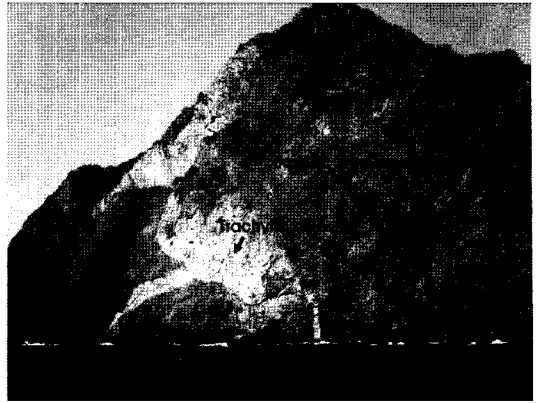


Fig. 5. Trachytic dike intruding into the basaltic agglomerate, coastal Manghyangbong.

보이나 접촉부가 절벽위에 있기 때문에 실제로 이들이 연결되어 국지적인 열하(裂隙)분출을 대표하는 것인지 조면암류가 조면암질 암맥을 비정합으로 피복하는 것인지에 대한 확실한 증거는 얻을 수 없다. 그러나 본 역에 산출되는 대부분의 조면암질 암맥이 조면암류에 의해 비정합으로 피복되어 있을 것으로 사료된다(김영기와 김상욱, 1977).

#### 조면암류

##### 조면암질 집괴암 및 응회암

본 암은 하위의 현무암질암류를 비정합으로 덮으며 상위에 놓이는 하부 조면암류에 의해 역시 비정합적으로 피복되는 것으로 추정된다. 또한 본 암은 향암질 및 조면암질 암맥에 의해 관입되며 조면암질암류의 가장 하부에 위치하고 있다.

Fig. 6과 같이 현무암질 집괴암과의 경계부에서는 현무암질 각력 등 화산쇄설물이 많이 포함되고 상부로 가면서 이들 현무암질 화산쇄설물의 함량이 점점 감소되어 전형적인 조면암질 응회암류로 변이된다. 이는 조면암질 마그마의 상승 시 현무암질암류를 지나는 동안 포함된 화산통로물질이 점차 양적으로 감소하는데 기인하는 것으로 해석된다. 조면암질 응회암의 지층구조에 있어서 층리의 변화가 심하고 연장성도 불량한 것으로 나타나며 이는 조면암질 응회암이 퇴적된 후 습곡작용을 받은 것이 아니라 퇴적당시 기복이 심한 지형적인 여건에 기인한 것으로 보인다(김영기와 김상욱, 1977).

#### 조면암

본 암은 본도의 거의 전역에 걸치는 광범위한 분포를

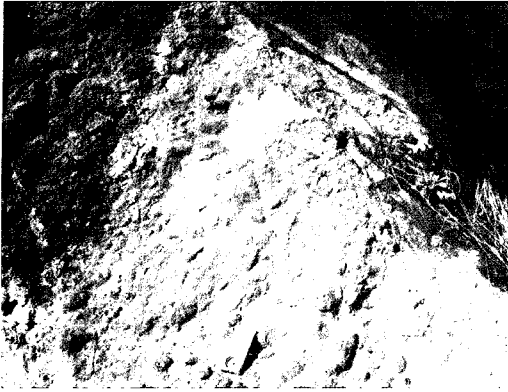


Fig. 6. Trachytic agglomerate at coastal Sadong.

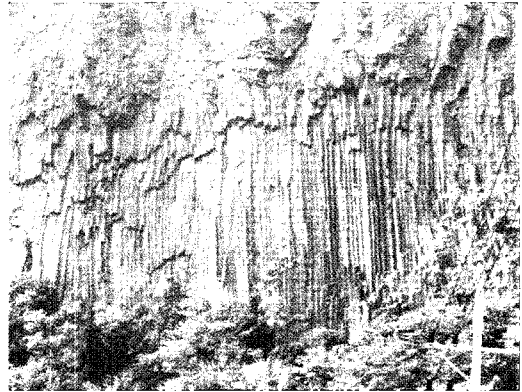


Fig. 8. Columnar joint into trachyte of Mt. Bipa(Guksusan).

보이며 울릉도 섬의 해수면 위의 화산체 이루는 주구성 암체이고 반상조적을 포함하고 있다.

Harumoto(1970)는 울릉도에 산출되는 조면암류를 8종류로 세분하였으며 이민성과 전용원(1984)은 조면암류를 크게 aegirineaugite 조면암, 합사장석 조면암, 그리고 kaersutite-흑운모 조면암으로 대별한 바 있다.

본 암류는 화산 층서적으로 보아 크게 2종류의 조면암, 즉 3~5매의 두터운 조면암류로 구성되는 하부 조면암대와 응회암으로 피복되어 노출이 불량한 상부 조면암대로 구분할 수 있다. 그리고 이들 상부와 하부 조면암질암 사이에는 조면암질 응회암이 협재되어 있어 구분이 가능하나 조면암질 응회암이 내재되지 않아 분류가 불가능한 곳도 있다. 따라서 본 연구에서 작성한 지질도에는 이들을 모두 하나로 묶어 조면암으로 기재하였다(Fig. 1).

하부 조면암은 화학적인 풍화작용에 강하고 절리가 잘 발달되어 험한 절벽을 이루고 있어 어디서나 쉽게

볼 수 있는 지형적인 특징을 보이며 절벽아래에는 크고 작은 규모의 테일러스(talus)가 형성되어 있음이 흔히 발견된다(Fig. 7). 또한, 통구미, 남양리, 추산리 등 일부지역에서는 주상절리가 잘 발달되어 있다(Fig. 8).

**조면암질 분석**

Fig. 9에서와 같이 본 층은 층리가 잘 발달되어 있으며 응회암으로서는 비교적 높은 분급정도를 보여 주어 화산력(lapilli)의 크기를 갖는 층과 1~2 mm 내외 입도의 응회암층이 교호된다. 본 암석은 대체로 산릉부에서 광범위한 분포를 보이고 있으나 두께는 아주 얇아서 보통 1 m 내외이고 두꺼운 곳도 5 m 이내이며 계곡부에서는 분포하지 않는다. 이는 분석 및 화산회의 분출 이후 화산체의 지형적인 변화가 크지 않았다는 것을 의미하고 본 암의 분출 이전에 현재의 지형이 형성되었으며 단지 계곡부가 더 깎여졌음을 의미한다.

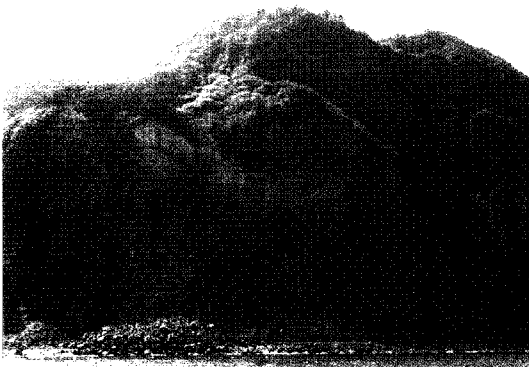


Fig. 7. Photo of trachyte forming steep criff and talus.

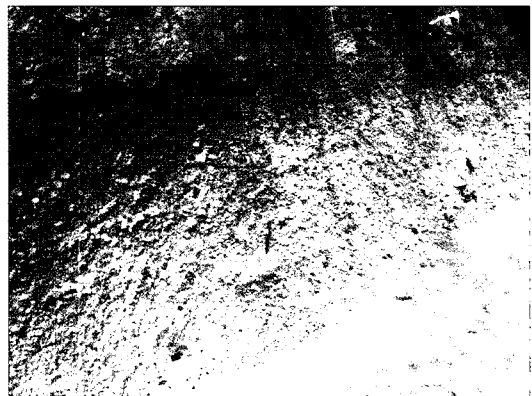


Fig. 9. Formation of trachytic pumice, Naesujeon.

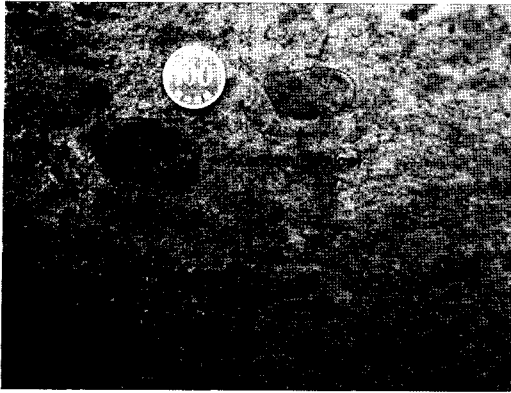


Fig. 10. Xenolith(trachytic pumice) in trachyandesite, Albong.

### 조면안산암

조면암질암류를 분출시킨 화도가 위치하는 나리분지 일대가 함몰되면서 칼데라가 만들어졌으며 이 칼데라에는 조면암질암편, 화산회 등이 퇴적되어 칼데라 퇴적층이 형성되었다. 이어 새로운 조면안산암이 분출하면서 칼데라 내에서 알봉 화산부가 형성됨과 동시에 조면안산암질 용암(trachyandesitic lava)의 일부는 칼데라 북측 계곡부로 유출되었다. 이 중 Leucite를 포함하는 조면안산암은 울릉도 화산활동 말기의 산물로서 나리 분지내의 알봉을 중심으로 얇게 분포하고 있다. 육안으로는 암회색 내지 회색으로 반상조직을 보이고 맨틀기원 물질로 생각되는 휘석 및 장석의 거정을 포획하고 있으며 조면안산암질 부석편(浮石片)도 산재되어 있음을 볼 수 있다(Fig. 10).

### 칼데라 퇴적층

나리분지의 칼데라가 형성되면서부터 조면암질 암질(巖屑), 모래 및 화산회 등이 퇴적되어 칼데라 퇴적층(intracaldera deposit)이 이루어졌을 것으로 추정되며 수평층으로 퇴적되어 노출을 볼 수 없는 만큼 이들 퇴적층의 두께와 구성암층 등의 구체적인 사항은 밝혀지지 않았다. 단지 알봉분지 북서쪽에 약 6~8m 깊이로 일부 퇴적층(Fig. 11)이 노출되어 있으며 퇴적층 하부에는 조면암질암이 분포하고 있는 것으로 조사되어 화산활동 종료 후 퇴적층임을 알 수 있다.

### 층적층

본 층은 자갈, 모래 및 점토로 구성되는 하성층적층과 해안선을 따라 모래와 자갈로 구성된 해안층적층이 있으며 그 분포는 소규모로 일부 지역에 한정된다.

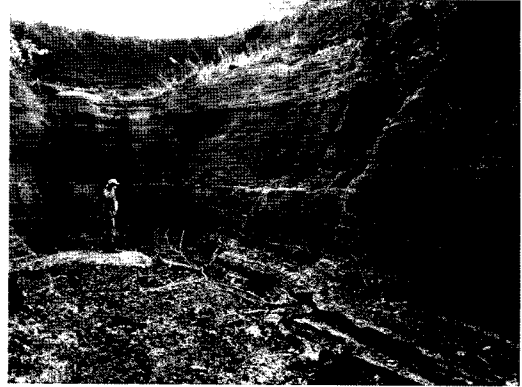


Fig. 11. Caldera deposit at Albong basin.

### 지질구조

울릉도의 지질학적인 연구에 있어서 분포암석의 기재, 지구화학적 연구 및 암석의 성인해석 등은 여러 연구자에 의해서 진행되었고 그 성과에 의해 어느 정도 밝혀졌다고 볼 수 있다. 그러나 울릉도 화산체의 화산층서는 각 연구자들마다 그 견해가 조금씩 다르게 해석되고 있으며 화산체의 화도의 위치와 규모 등에 대한 자료 및 화산체의 구조학적인 연구도 아직까지는 미비한 상태이다.

본 연구에서는 김영기와 김상욱(1977), Yoon(1994)에 의해 연구된 지질구조 자료와 현장 지질조사자료를 추가하여 Fig. 2에 도시하였고, 남동측에 위치한 사동리의 북서-남동방향의 단층과 남서측에 위치한 남양리의 북동-남서방향의 단층을 추가하였다. 그리고 나리분지의 칼데라에서의 단층선을 일부 확인하여 재정립하였다.

Fig. 2의 지질도에 제시된 바와 같이 나리분지의 칼데라는 함몰에 의한 역상각형의 단층선이 나타나고, 나리분지를 중심으로 북동-남서방향의 단층선과 북서-남동방향의 단층선이 발달하고 있는 것으로 보아 칼데라 함몰 당시의 충격에 의해 형성된 것으로 추정할 수 있으며 또한 일부 연구자에 의해 제기되고 있는 화산체 용기에 의한 것으로도 추정할 수 있다. 이에 대해서는 본 화산체의 지질구조에 대한 정밀한 조사가 필요할 뿐만 아니라 지구물리학적 연구도 병행되어야 할 것이다.

### 화산층서 및 화산활동상

#### 화산층서 및 지질연대

울릉도 화산암의 시대측정은 몇몇 연구자에 의해 실시되었다. 울릉도 화산암에 대한 현재까지의 연대측정

Sequence	Geological age	Sequence	Sequence	Sequence
김영기, 김상욱 (1977)	Kim and Lee(1983)	Won and Lee(1984)	Kim(1985)	S. Yoon(1994)
This study				
Talus deposits Beach sand and gravel ~Unconformity~ Trachytic pumice and ash Trachyandesite flow Intercaldera deposits ~disconformity~ Upper trachyte flow Trachytic lapilli tuff and tuff Undifferentiated trachyte flows Lower trachyte flow ~disconformity~ Phonolite and trachyte dike ~intrusive~ Trachytic agglomerate and tuff ~disconformity~ Basaltic dike and diabase ~intrusive~ Basaltic agglomerate and lava	Cenozoic Quaternary Holocene	5th [Leucite-bearing Trachyandesite lava, Trachytic rocks partly welded 4th [Trachytic pumice, ash and lapilli Pumice and Trachyandesite Period (including blocks of Pumice rocks) 3rd [Trachytic air fall deposits Trachytic and phonolitic lava Trachytic air fall deposits Trachytic lava 2nd [Trachytic Agglomerates, lavas and dikes Trachytic and trachyandesite agglomerate and lapilli tuff(I) 1st [Basalt lava, agglomerate and lapilli tuff	5th [Colluvial deposits Period Leucite-bearing Trachyandesite ~extrusive~ 4th [Trachytic pumice, ash and lapilli Period 3rd [Trachyte Phonolite 2nd [red clay Trachyte, Trachyte Agglomerates, Period 1st [Basalt agglomerates, Basaltic lava ~red clay~ Tuff breccia Basalt ~unconformity~ -floodong Tuffaceous conglomerate -Tufaceous sandstone	Inter caldera deposits 5th [Trachyandesite Period ~extrusive~ 4th [Trachytic pumice and ash Period 3rd [Trachyte, Trachytic lapilli tuff and tuff Period 2nd [Trachytic dike, Trachytic agglomerate and tuff Period 1st [Basaltic dike, Basalt agglomerate Period

은 대부분 K-Ar 방법으로 이루어졌으며, 민경덕 외 (1988)는  $2.7 \pm 0.9 \sim 1.8 \pm 0.7$  Ma, Xu *et al.* (1998)은  $1.56 \pm 0.04 \sim 0.58 \pm 0.01$  Ma, 그리고 Kim *et al.* (1999)은  $1.36 \pm 0.05 \sim 0.005 \pm 0.004$  Ma의 결과를 보고하였다. 한편  $^{14}\text{C}$  연대측정에 의하면 울릉도에서의 가장 최근 화산분출은 9,300~6,300 BP까지 지속되었다(Arai *et al.*, 1981; Machida *et al.*, 1984)고 한다. 따라서 상기 연구자들에 의한 연대측정값은 해수면상에서의 울릉도 화산체의 화산활동이 플라이스토세(Pleistocene)-홀로세(Holocene)에 걸쳐 있었음을 암시한다(원종관과 이문원, 1984).

본 화산암체는 기저의 현무암류, 조면암류의 용암류, 그들의 집괴암 및 응회암으로 구성되어 있으며 이들의 지질계통 및 화산층서는 Table 1과 같다.

### 화산활동상

여러 연구자에 의해 조사된 울릉도의 화산활동순서는 Table 1에 제시된 바와 같이 화산암의 야외 산출상태와 암질의 특징에 의해 대부분 크게 5단계의 화산활동기로 나누고 있다. 그러나 해저에서부터 높이 3,000 m에 달하는 울릉도 화산체의 대부분(해수면아래 약 2,000 m)은 해수면 아래에 있기 때문에 이 부분에 대한 화산활동을 논하기는 매우 어려운 실정이다. 따라서 해수면 아래의 화산활동은 지표에 노출되어 있는 일부 현무암질암류로 추정될 뿐이므로 Table 1의 제1기 화산활동이라 함은 울릉도 화산체에서의 화산활동의 시작을 의미하는 것은 아니라는 점을 밝혀둔다.

본 연구에서도 울릉도 화산체의 화산활동상을 다음과 같이 총 5단계로 구분하였으나 기존 연구자들(Table 1)이 조면암질암의 분출 시기를 2개의 활동시기로 나누고 조면암질 부석과 조면안산암질암의 분출을 1개의 활동시기로 제시한 것과는 달리 조면암질암의 분출시기는 1개의 활동시기로 통합하고 조면암질 부석의 분출시기와 조면안산암질암의 분출시기를 2개의 활동시기로 나누었다. 이는 조면암질암류가 복잡한 암상과 분포를 보이지만 분출양상이 비슷하기 때문에 단순화하고 일반화하여 울릉도 지질에 대한 접근을 용이하게 하기 위하여 1개의 활동시기로 제시하였고 조면암질 부석과 조면안산암은 분출 위치와 양상이 서로 다른 것으로 조사되어 2개의 활동시기로 제시하였다. 그러나 울릉도 화산체의 대부분을 차지하고 있는 조면암질암의 화산활동과 특징에 대해서는 추가적인 연구와 아직까지 연구가 이루어지고 있지 않은 각 화산활동 휴식기에 퇴적된 퇴적층에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

### 제1기 화산활동 이전 : 현무암질암류 분출

제1기 화산활동 이전의 울릉도 해수면아래의 화산체는 기저부가 넓고 완만한 경사를 갖는 Aspiter형을 이루고 있다. 그리고 제1기의 분출물로 추정되는 현무암질 집괴암과 응회암내에는 직경 0.05~1 m에 달하는 감람석 현무암 및 휘석현무암질 암편이 많이 포함되어 있으며 해안가 낮은 지역을 따라서 국부적으로 분포한다. 이와 같은 사실은 제1기 이전에 해수면아래에서 막대한 양의 감람석현무암질 용암과 그의 화산쇄설물의 분출이 있었음을 추정할 수 있다.

### 제1기 화산활동 : 현무암질 집괴암류 분출

해수면상에서 제1기의 화산활동의 하한을 설정하기는 어려우나 현무암질암류 분출의 마지막 시기이며 감람석 현무암 및 휘석현무암질 용암의 분출이 종료된 후 이들 암편을 포함하는 현무암질 집괴암의 분출 시기라 할 수 있다. 본 활동기의 초기에는 해수면 아래에서부터 분출이 있었을 것으로 추정되며 화산체 측면에 발달한 작은 열극을 통해서 용암류의 분출이 있었을 것으로 사료된다. 전체적으로 다량의 화산쇄설물을 극력하게 분출한 시기이므로 많은 현무암질 암편을 함유하는 현무암질 집괴암으로 구성되며, 부분적으로 연속성이 없는 조면암질 현무암류를 협재하고 있다(김윤규와 이대성, 1983). 이때 형성된 화산체 정상부는 장기간 풍화작용과 해파에 의해 깎이면서 지형이 완만해 졌을 것으로 사료된다.

### 제2기 화산활동 : 조면암질 집괴암류 분출

조면암질 및 조면안산암질 집괴암과 화산력질 응회암으로 구성되며 본 기의 초기인 하부층에는 많은 현무암질 암편이 포함되지만 상부로 갈수록 그 양이 감소되고 응회암의 얇은 층이 내재된다. 또한 노인봉, 초봉, 내수전 일대에서 많은 조면암질 암맥에 의해 관입된다. 이들 암맥들은 상부 제3기 조면암류로는 연장되지 않으며 경사는 거의 수직에 가깝고 주향은 대체로 동서, 북서-남동 방향이 우세하다.

조면암질 집괴암이 침식이나 풍화작용에 의해 주로 저지를 형성한 제1기 현무암질암류를 피복한다. 현무암질 집괴암의 완만한 지형은 제1기와 제2기 사이의 시간적인 간격이 큰 것을 의미하며 이는 암질이나 화학성분의 현격한 차이에 의해서도 설명된다. 조면암질 집괴암과 응회암은 항목령 일대, 평리, 추산, 죽암 등지에 분포하며 광암이나 평리계곡의 조면암질 집괴암에서는 다량의 현무암질 암편을 포함하며 조면암질 암맥이 관입하고 있다.



**제3기 화산활동 : 조면암류 분출**

제3기 화산활동기는 조면암류가 활발히 분출한 시기로 연구자에 따라서 이를 2개의 서로 다른 활동기로 분류하기도 하며 이를 구별하는 기준은 당시 지형을 따라 협재된 얇은 응회암층이지만 지역에 따라 응회암층이 협재되지 않는 곳도 있다. 따라서 본 연구에서는 조면암류 분출시기를 하나의 화산활동 시기로 포함하였다.

본 화산활동기 초기에는 북쪽사면에 발달한 조면암질 용암류를 분출시킨 화산활동이 활발하였으며 후기에는 나리분지를 화구로 하는 중심분출에 의한 것으로 생각되는 다량의 조면암질, 포노라이트(phonolite)질 용암류를 분출시켰다.

제2기 화산활동기와는 분포지역과 암상이 다르며, 특히 화산쇄설물의 양이 적고 비교적 활발한 화산활동이 있었다. 초기에는 조면암류와 응회암류를 분출하였으며 주로 화산체의 북측사면으로 유출하였다. 후기에도 역시 다량의 조면암질 및 포노라이트(phonolite)질 용암을 분출하였고 이때 현재 해수면상의 울릉도 골격을 만들었다. 후기 조면암의 특징 중 하나는 주상절리가 잘 발달하고 있으며 화산체 남서측인 남양동 일대와 북측 추산 일대에 잘 나타나고 있다. 원종관과 이문원(1984)은 주상절리가 발달하고 있는 조면암을 대동조면암이라 명명한 바 있다.

**제4기 화산활동 : 조면암질 부석류 분출**

비교적 조용한 제3기 화산활동의 조면암질 용암의 분출과는 달리 나리분지를 화구로 하여 조면암질 부석 및 화산력, 화산회 등의 화산쇄설물이 강력한 폭발력에 의해 분출한 시기로 울릉도 거의 전역에 걸쳐 화산체 최상부에 얇게 피복되었다. 김윤규와 이대성(1983)에 의하면 이들은 울릉도 거의 전역을 1~5 m 두께로 피복하였으며 화산회는 당시의 풍향을 타고 동쪽, 동남쪽으로 동해저, 일본 동북부 및 남부에까지 날아갈 정도의 강력한 화산쇄설성 분출이었다.

강력한 폭발 후 화산체의 화구 하부에는 빈 공간이 생기게 되었고 산체의 정상부가 함몰되면서 장경 2.5 km 정도의 삼각형 칼데라가 만들어진 것으로 생각된다. 칼데라 내에서는 조면암질 암편과 화산회 등 칼데라 측면에서 운반된 퇴적물들의 퇴적작용이 진행되었다.

**제5기 화산활동 : 조면안산암질 분출**

칼데라 형성 이후 내칼데라 퇴적작용이 계속되는 과정 중에 알봉의 주체가 되는 돛이 형성되고 조면안산암

질 용암이 알봉을 중심으로 분출하였으며 낮은 지형을 따라 칼데라의 북측으로 유출되었고 일부는 칼데라 내부로 유동하여 칼데라 내 분지를 나리분지와 알봉분지로 양분하면서 울릉도 화산체의 화산활동이 종료되었으며, 이후 칼데라 내부에는 칼데라 측면에서 이동한 쇄설성 퇴적물들의 지속적인 퇴적작용이 진행되었다.

**결 론**

울릉도는 전체 면적 72.82 km<sup>2</sup>로 지형적으로는 섬의 가장 중심인 성인봉(983.6 m)을 정점으로 하여 급한 경사를 이루고 있으며, 해안을 따라 조면암류와 현무암류가 다양한 모양의 절벽과 바위섬들을 형성하고 있다. 급한 경사로 이루어진 지형 및 지질학적 특징으로 인해 강우, 태풍에 의한 산사태가 자주 발생하여 피해가 발생하며 평소에도 도로에 낙석이 떨어지는 등 매우 위험한 상태이다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 안전한 관광지 개발을 위해서는 지질공학적인 연구가 필요하다.

그러나 동해 한가운데 위치하여 교통이 불편하고 현장조사의 어려움 때문에 다른 지역에 비해 지질학적 연구가 활발하지 않다. 이에 울릉도 천혜의 자원인 화산체에 대해 여러 연구자들의 선행된 지질학적 자료를 종합하고 본 연구에서 조사된 현장자료와 비교하여 울릉도 화산체의 지질과 지질구조 및 화산활동상에 대해 분석하여 지질공학 및 응용지질분야에서 쉽게 활용할 수 있도록 하였으며 이를 계기로 앞으로 많은 지질학적 연구가 진행되기를 기대한다.

본 연구에서 조사된 울릉도의 암석분포, 지질구조, 화산활동은 다음과 같다.

**울릉도의 암석분포**

울릉도 화산체는 해수면 부근의 기저에 현무암질 집괴암과 응회암류가 분포하고 있고 상부에 조면암질 집괴암과 응회암이 피복하고 있다. 그리고 그 상위에 조면암질암이 여러 차례 분출하면서 넓은 지역에 분포하게 되었고 현재 화산체의 대부분을 차지하고 있다. 그 외 소규모로 현무암질 및 조면암질 암맥과 조면안산암이 분포한다.

**울릉도의 지질구조**

나리분지의 칼데라는 함몰에 의한 역삼각형의 단층선이 나타나고 있고, 나리분지를 중심으로 북동-남서방향의 단층선과 북서-남동방향의 단층선이 발달하고 있는

것으로 보아 칼데라 함몰 당시의 충격과 마그마 상승에 따른 화산체 용기에 의한 것으로도 추정할 수 있다. 이를 확인하기 위해서 정밀한 지질조사와 더불어 지구물리학적 연구가 병행되어야 한다.

### 울릉도의 화산활동

기 조사된 연대측정값에 의하면 해수면 아래의 화산체는 신생대 제3기의 플라이오세(Pliocene)이며 해수면 위의 울릉도 화산체의 화산활동 시기는 신생대 제4기 플레이스트세(Pleistocene)-홀로세(Holocene)이다. 해수면 위의 울릉도 화산활동은 5단계로 구분되며 제1기는 해수면 위의 현무암질 집괴암 및 응회암의 분출시기이고 제2기는 조면암질 집괴암 및 응회암이 분출한 시기이다. 제3기에는 조면암질 용암류가 분출하여 울릉도 화산체를 형성하였고 제4기에 강력한 폭발에 의해 조면암질 부석이 분출하였으며 이로 인해 화구인 나리분지가 함몰되어 칼데라가 만들어졌다. 그리고 제5기에 칼데라 북서쪽에서 조면암질 안산암이 분출하여 중앙화구인 알봉을 형성하면서 모든 화산활동이 종료되었고 칼데라 내에서는 퇴적작용이 계속되었다.

## 사 사

본 연구를 위해 울릉도의 현장조사에 참여하여 조언을 주신 부산대학교 손진담 교수님, 안동대학교 황상구 교수님, 경북대학교 임명혁 박사님께 감사드립니다. 그리고 본 논문을 심사해준 익명의 심사위원과 정교철 심사위원장께도 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 국립해양조사원, 1998, 울릉도에서 독도, 해도, W177.  
권병두, 김규중, 김성철, 1995, 울릉도의 중력 및 자력탐사 연구, 지질학회지, 31, 138-150.  
김규한, 1996, 울릉도 저동지역의 제4기 저동층의 새로운 층서 설정, Jour. Korean Earth Scienc Society, 17, 383-390.  
김영기, 김상욱, 1977, 울릉도의 응용지질, 경상북도, 59p.  
김윤규, 이대성, 1983, 울릉도 북부 알카리 화산암류에 대한 암석학적 연구, 광산지질, 16, 19-336.  
민경덕, 김옥준, 윤석규, 이대성, 김규한, 1988, 한국남부의 백악기말 이후의 화산활동과 광화작용에 대한 판구조론의 적용성 연구(II), 지질학회지, 24, 11-40.  
송용선, 박맹언, 박계현, 2006, 울릉도와 독도 화산암의 생성연대 및 진화사, Jour. Petrol. Soc. Korea, 15, 72-80.

- 원종관, 이문원, 1984, 울릉도의 화산활동과 암석학적 특성, 지질학회지, 20, 296-305.  
이민성, 전용원, 1985, 한반도 남부의 제4기 화산암류와 이들의 tectonic한 환경, 지질학회지, 21, 260-280.  
이민성, 전용원, 1984, 한국의 제4기 화산암에 관한 연구, 한국과학재단, 88p  
정창희, 1988, 지질학개론, 개정판, 박영사, 640p  
진명식, 신흥자, 권석기, 2005, 한반도의 화성암과 화성활동, 한국지질자원연구원, 310p  
Arai, F., Oba, T., Kitazato, H., Horibe, Y. and Machida, H., 1981, Late Quaternary tephrochronology and paleo-oceanography of the sediments of the Japan Sea, The Quaternary Research, 20, 209-230.  
Harumoto, A., 1970, Volcanic rocks and associated rocks of Utsuryoto Island, Nippon printing and publishing.  
Kim, K. H., Tanaka, T., Nagao, K. and Jang, S. K., 1999, Nd and Sr isotopes and K-Ar ages of the Ulreungdo alkali volcanic rocks in the East Sea, South Korea, Geochem. J., 33, 317-341.  
Kim, Y. K., 1985a, Petrology of Ulreung volcanic island, Korea -Part 1. Geology-, J. Mineral. Petrol. Econ. Geol., 80, 128-135.  
Kim, Y. K., 1985b, Petrology of Ulreung volcanic island, Korea -Part 2. Petrography and bulk chemical composition, J. Mineral. Petrol. Econ. Geol., 80, 292-303.  
Lee, D. S., 1988, Geology of Korea, Kyohak-sa. 514p  
Machida, H., Arai, F., Lee, B. S., Moriwaki, H. and Furuta, T., 1984, Late Quaternary tephros in Ulreungdo Island, Korea, J. Geography., 93(1), 1-14.  
S, Yoon., 1994, Volcanism and Tectonics of Ulleung Island, Korea, with a Note on the Formation of the Japan Sea, Pacific Neogeone Events in Time and Space, 9p.  
Xu, S., Uto, K. and Kim, Y. K., 1998, K-Ar dating of volcanic rocks from Ulreung Island, Korea, Geochem. J., 32, 117-123.

2008년 8월 22일 원고접수, 2008년 9월 18일 게재승인

### 김기범

안동대학교 지구환경과학과

경북 안동시 송천동 388

Tel: 054-820-5075

Fax: 054-822-5467

E-mail: kgb004@andong.ac.kr

### 이기동

안동대학교 지구환경과학과

경북 안동시 송천동 388

Tel: 054-820-5468

Fax: 054-822-5467

E-mail: geocopin@andong.ac.kr