

백록담 분화구 형성 과정과 고환경

박 기 화*

<목 차>

- I. 서 언
- II. 본 론
- III. 결 론

I. 서 언

제주도에는 형성 시기를 달리하는 퇴적층이 암석과 암석 사이에 협재 분포한다(제주도, 1998, 2000). 퇴적층은 역암, 역질 사암 혹은 함력 니질암으로 구성되는데, 두께가 1~10m로 수평 연장은 수m~수10여m의 범위에 이른다. 역암, 역질사암 및 함력니질암으로 구성된 퇴적암은 회색 내지 흑회색을 띠며 원마도가 양호한 역을 함유하고 퇴적 구조가 발달한다. 함력 니질암은 대부분이 담황색 내지 담홍색을 띠며, 부분적으로는 흑색을 띠기도 한다. 함력니질암에는 드물게 Pelee's Tear 와 스코리아 조직이 보존되어 있는데, 이로 보아 화산 폭발에 의해 만들어진 화산쇄설물이 운반 퇴적된 것으로 해석된다. 이들 퇴적층은 화산활동 기간 중에 휴식기가 있었음을 의미한다.

서귀포시 입석동에는 역질사암으로 구성된 입석동역암이 백록담조면현무암 사이에 협재 분포하는데, 구성 물질은 유리질 화산쇄설물과 원마도가 불량한 조면질암 암편을 다량 함유한 특징이 있다. 백록담조면현무암은 입석동에서 한라산 정상까지 연장 분포하는 것이 추적이 되며, 한라산 정상에서는 유리질응회암(hydrovolcanic tuff), 스코리아층, Spatter층과 교호 산출된다. 유리질응회암은 입석동역암을 구성하고 있는 암편과 성분이 유사하다. 한라산 정상의 분화구는 제주도의 다른 응회구 혹은 응회환(성산일출봉, 송악산)의 분화구와 규모가 유사하고, 또한 유리질응회암이 산출되고 있어서 수성화산활동(hydrovolcanic eruption)에 의해 형성된 것으로

* 한국지질자원연구원 지질연구부 책임연구원

추정된다. 입석동 역암은 층서와 구성 물질로 보아 한라산 정상에서 발생한 수성분출과 관련된 화산쇄설물이 재동 퇴적된 것으로 입석동역암 분포지와 백록담에서 보여주는 층서와 구성물질이 상호 연관됨을 검토하여 화산활동의 특성과 고환경, 백록담 형성 과정을 밝히고자 한다.

II. 본 론

1. 일반지질

제주도는 북동동-남서서 방향의 장축(74km)과 북서서-남동동 방향의 단축(32km)을 갖는 타원형의 섬으로 면적은 1,825km²이다. 제주도 중앙부에는 1,950m 높이의 한라산이 위치하고, 정상에는 지름이 575 × 400m, 깊이가 100m에 이르는 분화구가 있으며 돛상의 조면암이 분화구 주변에 분포한다.

제주도를 구성하고 있는 암석은 퇴적암, 용암분출에 의해 형성된 화산암, 화산 폭발에 의해 형성된 화산쇄설암이 있다. 퇴적암은 용암과 용암 사이에 협재한 황적색 혹은 회색의 소규모 니질퇴적암, 역암, 함각력 역암이다. 용암 분출에 의해 형성된 암석은 성분으로 보아 현무암, 조면현무암, 현무암질조면안산암, 조면안산암, 조면암 및 현무암질안산암류로 분류되는데, 이중 조면암류는 부분적으로 관입상을 보여 높은 지형을 이루기도 한다. 화산쇄설암은 수성화산분출과 스트롬볼리분출에 의해 형성된 것으로 구분된다. 수성화산분출에 의해 형성된 유리질쇄설암은 제주도 해안에 분포하며 잘 발달된 층리를 보인다. 스트롬볼리상 분출과 관련된 화산쇄설암은 분석구를 형성하며, 대부분이 제주도 내측에 분포한다.

입석동역암 분포지역의 지질은 하부로부터 보리악조면현무암, 한라산조면암, 성널오름조면안산암, 시오름조면현무암, 백록담조면현무암, 입석동역암, 윗세오름조면현무암의 순으로 분포한다(Fig. 1).

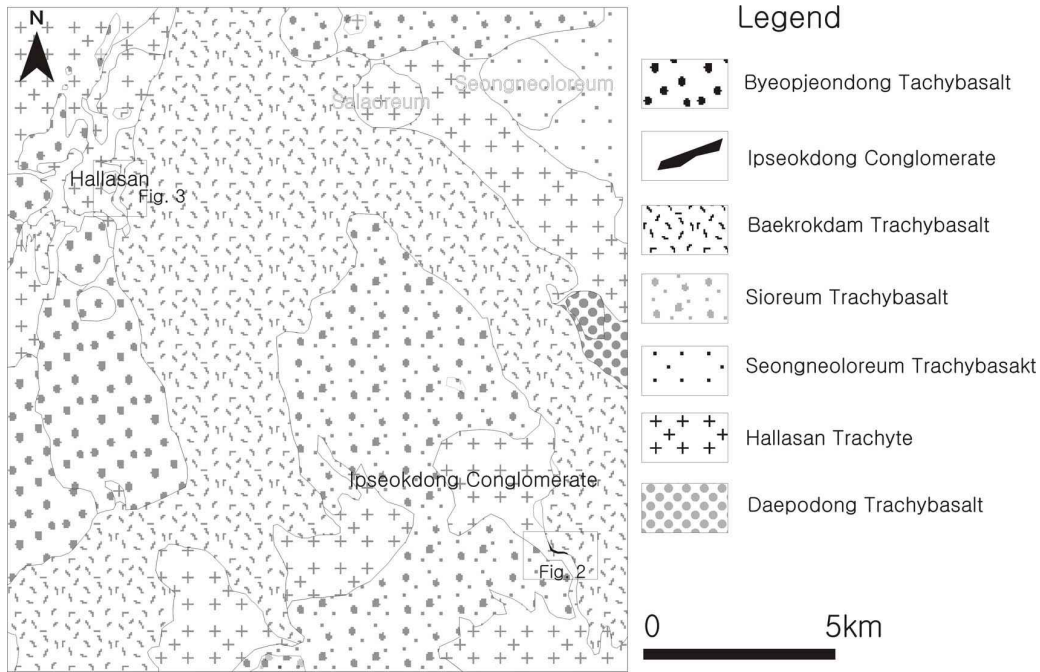


Fig. 1. 지질도

보리악조면현무암은 보리악에서 분출한 용암에 의해 형성된 것으로 두께가 1m 내외인 5~7매의 암체로 구성되어 있다. 회색 내지는 암회색의 이 암석은 1~10mm 크기의 기공을 20% 정도 함유하고, 반정으로 장석과 휘석이 산점한다. 장석 반정은 5~10mm 크기로 함량은 단위면적 10cm² 당 약 20개 정도, 휘석은 5mm 크기로 약 10개 정도 함유되어 있다.

한라산조면암 한라산 최정상부를 구성하고 있는 암석으로 회색의 암석을 띄며 풍화면에서 담홍색을 띠거나 담청색을 띤다. 직경이 1~2m 내외의 주상절리 발달이 두드러진 것이 특징이다. 백색의 장석이 반정 내지는 취반을 이루고 있으며, 부분적으로 흑색의 각섬석이 산점하기도 한다. 사라오름에서 분출한 암석은 화학조성으로 조면안산암이며 층서와 암질은 한라산조면암에 대비된다.

성널오름조면현무암은 성널오름에서 유래한 암석으로 회색 내지 담회색의 이 암석은 3mm 크기의 기공이 소량 함유되어 있으며, 반정으로 휘석과 사장석이 산출되는데, 휘석이 우세하게 나타나는 것이 특징이다. 휘석 반정은 2~5mm 크기로 10cm² 단위 면적에서 20개, 사장석은 5mm 크기로 6~7개정도 함유되어 있다.

시오름조면현무암은 회색 내지는 암회색으로 1~10mm 크기의 기공을 20% 정도 함유하고 있다. 기공의 함량은 노두에 따라 변화가 크며, 기공이 없이 치밀하게 산출되기도 한다. 반정으로 장석이 우세하고 소량의 휘석이 함유되어 있다. 5~10mm

크기의 장석 반정은 함량이 10cm^2 단위 면적에 약 20개, 휘석은 5mm 크기로 약 3~5개의 함량을 보인다.

윗세오름조면현무암은 윗세오름, 방애오름에서 유래하였다. 회색 내지는 암회색의 이 암석에는 1.0cm 크기의 기공이 용암류의 상단부에 다수 있으며, 암체 내부로는 급속히 줄어들는다. 부분적으로 3.0cm 크기로 기공이 신장된 양상을 보이기도 한다. 반정으로 휘석이 우세하고 소량의 사장석과 감람석이 함유되어 있다. 휘석 반정은 5mm 크기이며 함량은 단위면적 10cm^2 당 약 10개, 7mm 크기의 사장석은 5개 정도 함유되어 있다.

2. 백록담조면현무암

백록담조면현무암은 한라산 정상부에 남측으로는 남원을 하례리에 이르고, 북쪽으로는 제주시 오등동에 이르기 까지 광범하게 분포한다. 관음사에서 등산로를 따라 1.5km 지점에는 용암동굴(구린굴)이 형성되어 있고 새끼줄구조가 흔히 형성되어 있는 파호이호이 용암에 의해 형성된 암석이다. 이 암석의 분출 양상은 용암 분출-수성화산분출-하와이안 내지는 스톱보리안 분출-용암 분출의 순으로 분출 양상의 변화를 보이고 있다.

1) 응회암

응회암은 백록담조면현무암의 분출 초기에 수성화산활동에 의해 생성된 암석으로 한라산 정상에 남측 경사면(윗세오름 등산로)에 따라 한다(Fig. 2). 응회암층은 강하게 고결되어 있으며 두께는 약 30m에 이르며 800m의 연장을 갖고 분포한다. 응회암은 한라산조면암과 백록담조면현무암을 피복하고, 상위는 한라산조면현무암이 피

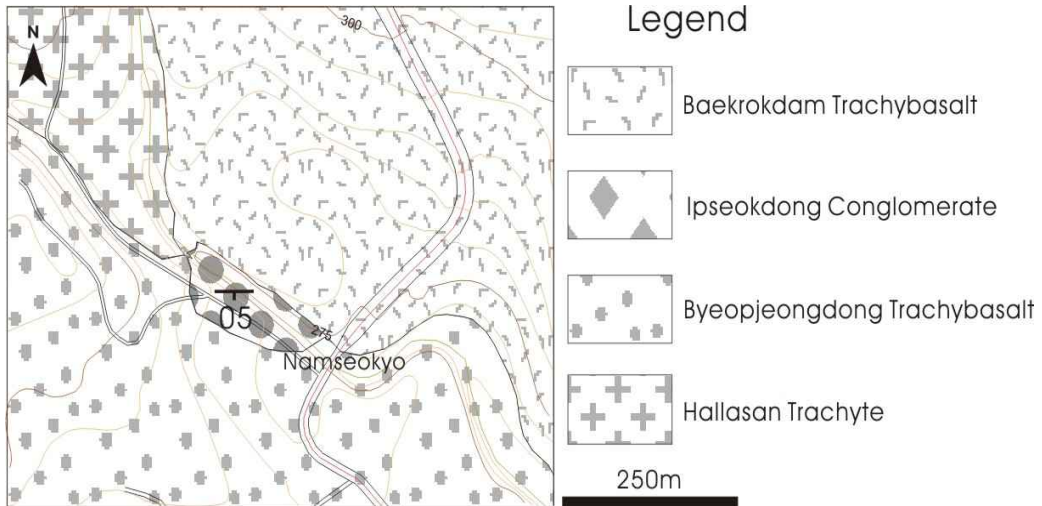


Fig. 2. 한라산 정상부 지질도

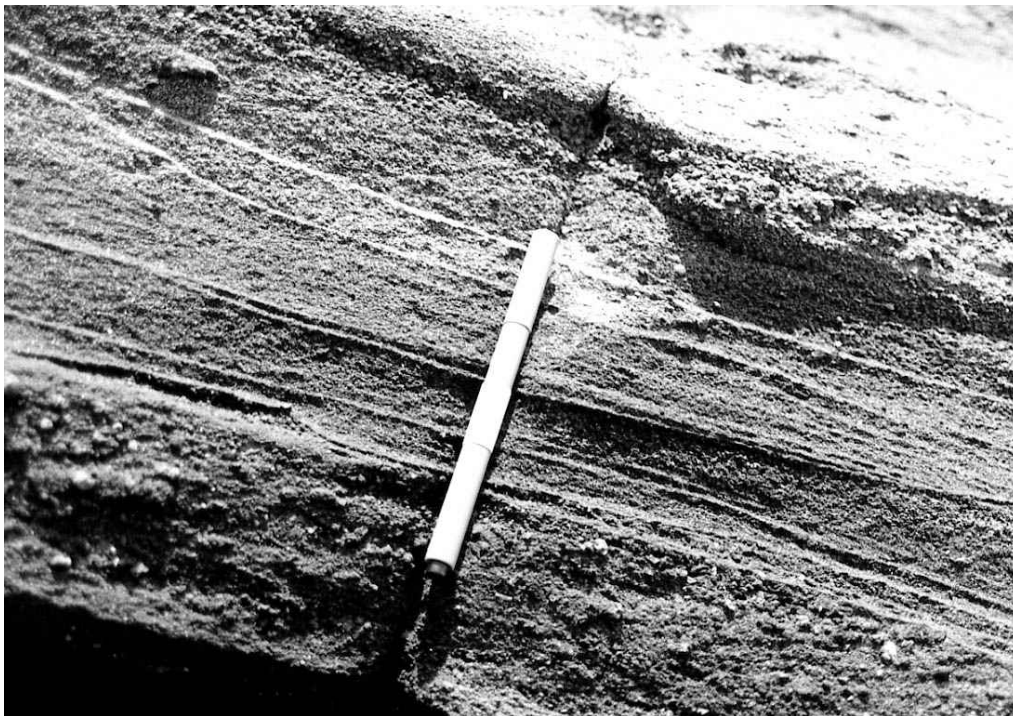


사진 1. 백록담현무암에 의해 형성된 유리질응회암. 백록담현무암의 수성 분출에 의해 형성되었으며, 저각도의 사층리를 보여준다. 역점이층에는 조면암편이 다량 함유되어 있다 (펜 길이; 14cm)

복한다. 응회암층은 두께가 2~5cm의 엽층으로 구성되어 있으며, 이들 엽층리의 대부분은 저각도의 사층리를 보이고 있다(사진 1). 층리는 N62oE의 주향에 32oSE로 경사한다. 구성 물질은 대부분이 파라고나이트화된 유리응회질, 래피리 내지는 block크기의 담갈색 내지는 담황색의 조면암편과 현무암 편으로 구성되어 있다. 미립 내지는 래피리 크기의 구성 입자는 점이층리 혹은 역점이층리를 보이며, block 크기의 암편은 불규칙하게 분포한다. 조면암편은 담황색 내지는 담갈색을 띠며, 화산회 내지는 래피리 크기이다. 조면암은 각력상이며 심하게 풍화되어 쉽게 부서진다. 암편은 수성화산분출 시에 주변에 분포해 있던 암석에서 유래된 것이다. 다량의 조면암편이 응회암 내에 화산회 내지는 block 크기로 분포하는 것으로 보아 수성분출 활동은 지표 가까이에서 발생한 것으로 추정된다. 또한 응회암의 상하부에 백록담조면현무암이 분포하는 것은 응회암이 백록담조면현무암 분출 시에 환경의 변화에 의한 산물임을 알 수 있다.

2) 스크리아와 집괴암

집괴암과 스크리아층은 한라산 정상에서 관음사 등산로로 내려가는 부분에 분포한다. 집괴암은 두께가 약 20m에 연장은 약 50m에 이른다. 집괴암 내에는 부분적으로 용암과 스크리아가 협재한다. 집괴암은 50~80cm 크기의 집적되었으며 용암괴는 용결되어 있다. 스크리아층은 집괴암에서 점이되어 나타나고, 크기가 5cm 인 스크리아로 구성되어 있다. 스크리아 크기는 분출지에서 멀어지면서 크기가 작아진다.

3) 조면현무암

이 암석은 한라산 정상 반동부 지점에서 서귀포시 입석동을 거쳐 남원읍 하례리까지 연장 분포한다. 한라산 정상에서는 유리질응회암(사진 1) 혹은 스크리아층을 협재하고 한라산조면암을 피복한다. 서귀포시 입석동 남서교에서 북측 150m 지점에서는 입석동역암에 협재하거나 피복하고, 남서교 하부 20m 지점에서는 입석동역암과 보목동조면현무암을 피복한다. 남서교 하단부에서 입석동역암 사이에 새끼줄구조가 형성되어 있다. 남서교와 수악교 사이의 11번 국도변에서 0.5m 두께의 용암류가 복합층을 형성하고 있고, 용암류 사이에는 lava toe가 관찰된다. 용암류 사이에는 크링커가 형성되어 있거나 공동이 형성되어 있다. 한라산 정상부에 분포되어 있는 이 암석의 최하부 한라산조면암 접촉부에는 흑색의 유리질 급냉대가 약 5mm 두께로 형성되어 있고, 조면암을 포획하고 있다. 흑색 내지는 암회색의 이 암석은 1~10mm 크기의 기공이 40% 정도 함유되어 있으며 부분적으로 반상조직을 보인다. 반상조직은 한라산 정상부에 분포한 암석에서 더 두드러지며, 반정광물은 장석, 감람석, 휘석이다. 장석 반정은 3~5mm 크기로 10cm² 단위면적에 5~7개가 산점하

는데, 부분적으로 벌집구조가 형성되어 있기도 한다. 감람석과 휘석 반정은 3mm 크기로 5개 정도 함유되어 있다. 감람석 반정은 부분적으로 iddingsite화 되었다. 기질부는 침상의 장석으로 구성되어 있는데, 주상의 결정으로 산출되는 장석은 장축의 길이가 약 1.5 mm에 이르기도 한다.

3. 입석동역암

이 암석은 남서교(NG 30.15/162.4)에서 10m 상부 하천 바닥에 노출되어 있는 퇴적암이다. 퇴적암의 두께는 5m 정도이며 하천 바닥과 남서측 절벽에 따라 100m 정도 연장 분포를 보이고 있다. 남서교 하단 100m 지점에 두께 1.0m의 역암이 10m 정도 연장 분포를 하며, 오렌지장원계곡(NG 29.25/162.7)에 두께 0.8m로 산출된다.

백록담조면현무암의 암층 사이에 협재하거나 백록담조면현무암을 피복하며, 남서교 하단부의 역암은 백록담조면현무암에 의해 피복된다(Fig. 3).

담갈색 내지 흑색의 함력 사질층과 담황색의 니질층이 교호하여 역암을 형성하고 있다. 사질 엽층은 두께가 2~5cm 정도이며, 엽층은 완경사를 이루거나 사층리를 이룬다(사진 2). 또한 엽층 내에는 급경사의 사층리가 발달하고 있다. 사질의 엽층은 담황색의 각력상 암편과 흑색의 유리질 물질로 구성되어 있다. 담황색의 각력상 암편은 크기가 0.3~1.0cm 이며, 다른 암편에 비해 풍화가 심하여 쉽게 부서진다. 암색과 사장석이 함유되어 있는 점을 고려할 때 조면암에 해당될 것으로 해석된다. 이들 각력은 점이층을 보여준다. 흑색의 유리질 응회질은 대부분이 미립 내지는 조립질이며 1cm 크기의 암편으로도 함유되어 있다. 이들은 원마가 되지 않은 각력상으로 수성분출활동의 산물로 해석된다.

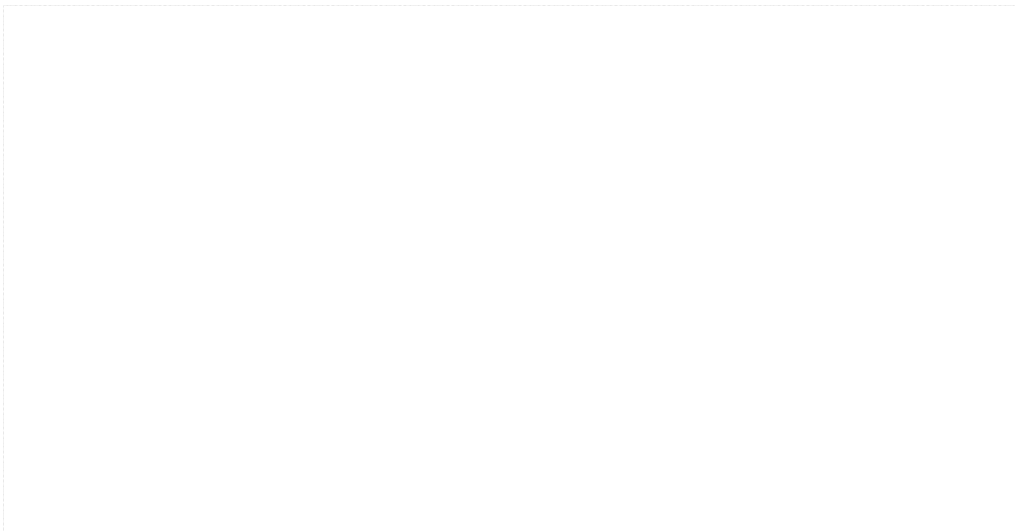


Fig 3. 입석동역암 분포지 지질도



사진 2. 입석동역암 노두 사진. 환경사의 층리를 보여주고, 사층리가 발달한다. 흑색은 유리질응회물질이고, 백색의 각력상은 조면질암편임. 2~10cm 크기의 원마도가 양호한 역이 산점 분포함. (랜즈캡 크기는 7cm)



사진 3. 입석동역암 내에 협재하는 니질층에 형성되어 있는 균열.
(랜즈캡 크기는 7cm)

니질층은 미립의 화산회로 구성되어 있으며 층의 두께는 1~10cm 내외이다. 니질층은 연장 발달이 비교적 양호하며 균열이 형성되어 있다. 균열은 하천 바닥에 잘 나타나 있고 5cm 두께로 발달하는 사질층에 협재된 부위에서도 균열이 형성되어 있다(사진 3).

4. 고찰

응회암과 입석동역암은 백록담조면현무암과 교호하여 산출되며, 이는 이들 암석이 백록담조면현무암과 관련되어 형성된 것을 의미한다. 한라산 정상부에서 백록담조면현무암과 관련된 암석은 용암 분출-수성화산분출-하와이안 내지는 스톱보리안 분출-용암 분출 양상의 순으로 변화를 보이고 있다. 이는 마그마의 물리-화학적 변화와 주변 환경의 변화에 기인된 것이다. 응회구 내지는 응회환 형성은 다량의 물과 마그마가 접촉하여 나타나는 수성화산활동에 의해 형성되며, 물의 공급이 없어지게 되면 스킨리아 분출 및 용암 분출로 양상이 변하게 된다. 이러한 양상은 제주도의 응회구 응회환(우도, 송악산, 당산봉, 두산봉)에서 보여주는 일반적인 현상이다

(Sohn, 1992, 1995, 1996; Sohn and Chough, 1989, 1992, 1993). 한라산 정상부에서 수성화산활동이 발생하기 위해서는 다량의 물 공급이 있어야 하는데, 한라산 정상에 있었을 물에 대해서는 다음과 같은 사실에서 유추할 수 있다. 즉 백록담조면현무암이 조면암과 접하는 최하부에 흑색의 유리질 급냉대가 형성되어 있고, 투수성이 비교적 양호한 응회암이 32°의 경사지에 퇴적된 것을 고려하면, 백록담조면현무암은 눈으로 피복된 환경에서 분출이 일어났을 것으로 해석된다. 또한 입석동역암에 협재한 니질층에는 건열이 형성되어 있는데, 이는 퇴적 당시의 환경이 건조하였음을 의미하며, 입석동역암이 백록담조면현무암에 협재되어 퇴적된 점으로 보아 겨울철에 화산활동이 일어난 것으로 해석된다.

유리질응회암과 입석동역암에 암편으로 산재하는 담황색의 조면암질 암편은 한라산 정상에 분포해 있는 암석과 응회암에 포획된 양상으로 보아 한라산조면암에 해당된다. 응회암과 입석동역암에서 조면암질 암편은 현무암편에 비하여 풍화가 심하게 되어 있는 것으로 보아 백록담조면암 분출 시에 이미 풍화가 진행된 상태에서 포획된 것으로 해석된다. 입석동역암을 구성하고 있는 조면암편은 각력상이거나 원마도가 불량한 것을 감안한다면 근거리에서 분포해 있던 응회물질이 재동 퇴적된 것으로 해석된다. 백록담조면현무암은 초기에 수성 분출 활동을 하여 유리질응회암을 형성하였고, 이로부터 응회물질이 재이동 퇴적되는 과정과 백록담조면현무암의 분출 작용이 동시에 발생한 결과로 해석된다. 이 결과 분출지로부터 원거리 지점에는 재퇴적 응회퇴적암이 먼저 퇴적되고 후에 백록담조면현무암에 의해 피복되거나, 부분적으로 백록담조면현무암과 퇴적암이 동시에 퇴적된 결과로 해석된다.

Ⅲ. 결 론

한라산 정상에는 유리질응회암, 스킨리아층, 백록담조면현무암이 분포한다. 이들 암석은 백록담조면현무암이 용암 분출-수성화산분출-하와이안 내지는 스톱보리안 분출-용암 분출 양상의 순으로 변화하면서 형성된 암석이다. 이러한 분출 양상의 변화는 제주도의 응회구 응회환(우도, 송악산, 당산봉, 두산봉)에서 보여주는 일반적인 현상이며, 분화구의 크기에서도 유사하다.

마그마와 물이 접촉하면 수성화산활동이 일어나며, 경사지에 퇴적된 것을 고려하면 눈이 물의 주공급원이었다. 입석동역암에는 건조한 환경에서 형성되는 건열이 있어 겨울철에 화산활동이 일어난 것으로 해석된다.

입석동역암은 근거리에서 분포해 있던 응회물질이 재동 퇴적된 것으로, 백록담조면현무암 분출과 퇴적암이 동시에 퇴적된 결과이다.

참고문헌

- 제주도, 1998, 제주-애월도폭 지질보고서, pp1-290.
- 제주도, 2000, 서귀포-하효리도폭 지질보고서, pp1-163.
- Sohn, Y.K., 1992. Depositional models of basaltic tuff rings and tuff cones in Cheju Island, Korea. Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, 210 pp.
- Sohn, Y.K., 1995. Structures and sequences of the Yongmeori tuff ring, Cheju Island, Korea: Sequential deposition from shifting vents. *J. Geol. Soc. Korea*, 31: 57-71.
- Sohn, Y.K., 1996. Hydrovolcanic processes forming basaltic tuff rings and cones on Cheju Island, Korea. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 108: 1199-1211.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1989. Depositional processes of the Suwolbong tuff ring, Cheju Island (Korea). *Sedimentology*, 36: 837-855.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1992. The Ilchulbong tuff cone, Cheju Island, South Korea: depositional processes and evolution of an emergent, Surtseyan-type tuff cone. *Sedimentology*, 39: 523-544.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1993. The Udo tuff cone, Cheju Island, South Korea: transformation of pyroclastic fall into debris fall and grain flow on a steep volcanic cone slope. *Sedimentology*, 40: 769-786.