

백록담에 분포하는 한라산조면암의 풍화특성

이 창 섭, (주)동해이엔지
이 상 배, 부경대학교 응용지질학과
조 태 진, 부경대학교 환경탐사공학과

1. 서론

한라산 정상부의 백록담 암체는 백록담조면현무암이 분포하는 동측구역과 한라산조면암이 분포하는 서측구역으로 구분된다. 동측구역에서 개별 암석블록들의 국지적 붕락현상도 발생하지만 백록담에서 진행되는 암벽붕괴는 전반적으로 백록담 서측구역에 분포하는 한라산 조면암의 풍화작용과 밀접한 연관성을 가진다. 풍화작용은 지표 및 지표부근에서 물리적, 화학적, 생물학적 작용에 의해 암석 및 토양이 분해되고 변질되는 과정이다. 본 연구에서는 한라산조면암 분포지역의 지질학적 및 지형학적 특성을 조사하였으며, 풍화단계별로 조면암 시료를 채취하여 조면암의 광물학적변화를 고찰하기 위하여 편광현미경분석, 전자현미경관찰을 풍화에 따른 시료의 화학조성 변화와 풍화지수를 산정하기 위하여, X-선 회절분석 및 지화학분석, 공학적 물성시험 등을 수행하였다. 실험결과에 의거하여 한라산조면암의 광물·암석학적 특성변화, 화학적 특성변화와 물리적 특성변화를 분석하였으며, 백록담을 구성하는 조면암체의 풍화특성과 원인을 조사하여 풍화미커니즘을 고찰하였다.

2. 제주도의 지질 및 지형

제주도는 대한해협을 남서단에 위치하며 평면도상에서 장축은 동북동-서남서 방향으로 길이 약 74km, 단축은 북북서-남남동 방향으로 길이 약 32km의 타원형으로 해발고도 1950m의 한라산을 중심으로 원추형의 단면을 보여준다.

백록담일대는 기반암의 풍화, 붕괴, 낙반 등에 의한 훼손이 가속화되어 백록담의 지형변화가 초래되고 있으며, 특히 북서벽, 서벽 및 남서벽의 훼손상태가 심각한 수준에 이르고 있다(고정선, 2003). 제주도(2000)의 조사 자료에 의하면 백록담을 포함하는 한라산 정상 일대의 훼손 면적은 한라산 국립공원 내 전체 훼손면적 225,870m²의 17.9%인 40,320m²로 나타났다. 백록담의 훼손은 궁극적으로는 백록담을 이루고 있는 토양침식과 기반암 훼손의 결과로서 기반암의 풍화와 밀접한 관련을 갖는 것으로 판단된다.

백록담 및 주변일대를 구성하는 지질은 하위로 부터 상위로 신생대 제4기의 한라산조면암, 백록담조면현무암(스코리아층 협재), 만세동산역암으로 구성된다(Fig. 1). 한라산조면암은 백록담을 구성하는 암석 중 가장 풍화가 진행되어 나타나며 회백~회갈색을 띠고 수직절리가 특징적으로 발달한다. 백색의 알칼리 장석이 반정 또는 취반을 이루며 부분적으로 산화된 흑색의 각섬석이 산점한다. 백록담조면현무암은 풍화에 대한 저항성이 강하여 신선한 상태로 노출되며 산체의 동측에서 하위층을 얇게 피복하여 분포한다. 용암의 두께는 동쪽능선에서 2~3m, 화구벽의 외측사면에서는 0.2~0.3m의 두께를 보여준다. 조면현무암의 하부에는 스코

리아층이 협재되는데 스코리아층은 동쪽 화구벽의 하단부와 북쪽 관음사 등산로 정상부에 분포하고 있으며, 용암류에 의해 피복되어 산점 분포한다. 백록담조면현무암의 전체적인 분포양상은 백록담 분화구에서 분출한 용암류가 한라산의 동쪽 산사면을 따라 유출되어 하부지층을 얇게 피복하여 분포한다(박기화 외, 2000). 만세동산역암은 한라산조면암의 서측 절벽 아래 일대에 분포하고 있다. 역의 대부분은 한라산조면암으로 구성되며, 현무암 및 스코리아를 포함하고, 대부분이 역지지(礫支持)의 이동상을 보인다. 한라산조면암체에 가까운 곳에 분포하는 것은 백록담 정상부에서 떨어져 나온 애추성 역암으로 사료된다.

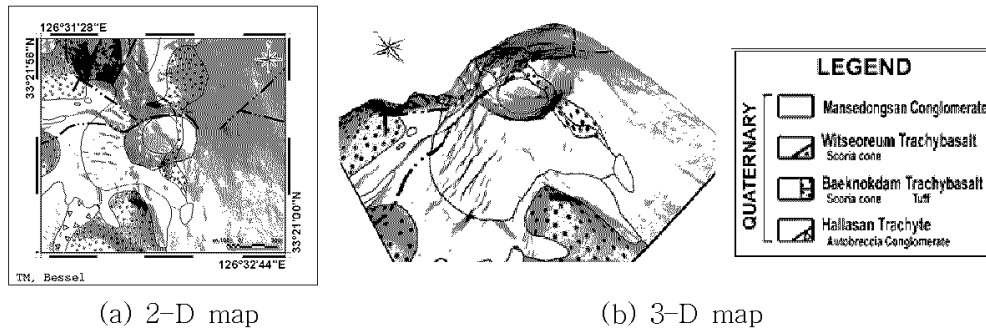


Fig. 1. Geologic map around the summit of Mt. Halla(modified from Park et al., 2000).

백록담일대에 분포하는 암석들은 암종별로 차별화된 풍화특성을 나타낸다. 한라산조면암은 한라산 정상을 구성하는 암석 중 가장 풍화가 진행되어 전체적으로 심한 풍화(highly weathered)에서 풍화 잔류토(residual soil)까지의 풍화등급을 보인다. 용암돔(lava dome) 형성체의 냉각에 따른 수직절리가 현저하게 발달하여 수직절리를 따라 풍화가 진행된 돌출지형을 형성하고 있다. 또한 지표면에서는 박리(exfoliation) 현상이 현저하고, 층상절리(sheeting joint)가 발달되어 있다. 암석표면으로부터 분리된 판상의 암괴는 경사면을 따라 이동하여 하부에 집적되어 애추를 형성한다. 백록담조면현무암은 치밀한 암회~흑색의 암석으로, 풍화도는 약간풍화(slightly weathered) 단계로서 풍화에 대한 저항성이 강하여 백록담 동측부에서 돌출지형을 형성하고 있다. 백록담조면현무암 하부에 협재되는 스코리아층은 다공성의 자색을 띠는 보통풍화(moderately weathered) 단계의 암석으로 지표면은 요철이 심하고 부분적으로 소암괴로 분리되어 분포하고 있다. 백록담정상부의 일부 구역에 국한되어 분포하므로 분포 면적이 협소하다. 만세동산역암은 백록담일대를 구성하는 암석 중 가장 후기에 형성된 준고결 상태의 퇴적암으로서 역의 대부분은 한라산조면암으로 구성되며 백록담 내부의 저지에 분포되어 있다.

3. 시료채취 및 분석

한라산 정상의 백록담을 구성하는 암석 중에서 가장 풍화가 진행되어 암벽 안정성에 큰 영향을 끼치는 한라산조면암의 붕괴양상과 풍화 미커니즘을 규명하기 위하여 Irfan(1978)의 6단계 풍화분류기준에 의거하여 풍화등급을 분류하고, 시료를 채취하였다(Fig. 2). 조사지역에 분포하는 조면암은 심한 풍화(highly weathered, HW) 등급의 암석

에서 완전 풍화(completely weathered, CW) 등급, 풍화잔류토(residual soil, RS) 까지의 3단계 풍화산물로 분포한다. 채취된 시료는 심한 풍화(HW) 등급의 시료 5개, 완전 풍화(CW) 등급의 시료 1개, 잔류토(RS) 시료 1개 등 총 7개이다. HW 등급의 시료는 채취된 블록시료로부터 박편을 제작하였고 CW 등급의 시료는 경화제에 침수시켜 경화시킨 후 박편을 제작하여 광물조성과 조직을 관찰하였다.

암석은 풍화작용에 의해 역학적 파괴강도가 저하되고 물리적 특성이 변화된다. 한라산조면암의 제반 공학적 특성을 분석하기 위하여 HW 등급의 블록시료로부터 코아시료(10×5cm)를 제작하고 ISRM(1981) 규정에 의거 물성시험을 실시하였다. 시험항목은 비중, 흡수율, 공극율, 탄성과 속도, 일축압축강도, 점하중 강도, 압열인장강도 등으로 물성시험결과로부터 풍화에 따른 한라산조면암의 공학적인 물성변화를 파악하였다.

풍화에 따른 광물의 변질과 점토광물의 형성, 미세균열의 발달 등을 확인하기 위하여 HW, CW등급의 연마편 시료와 HW, CW, RS 등급의 분말시료를 대상으로 BSE(Backscatter electron) 영상을 획득하였다. WDS분석은 K, Na, Ca, Mg, Fe, Si, Al을 대상으로 수행하였고, 화학성분과 풍화에 따른 화학조성의 변화를 파악하기 위하여 주성분원소에 대한 화학분석(X-선 형광분석, XRF)을 실시하였으며, 분석항목은 SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, H₂O, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, LOI 등 11개이다. 풍화에 따른 변질광물, 특히 점토광물의 형성여부와 종류를 파악하기 위하여 X-선 회절분석(XRD)을 실시하였다.

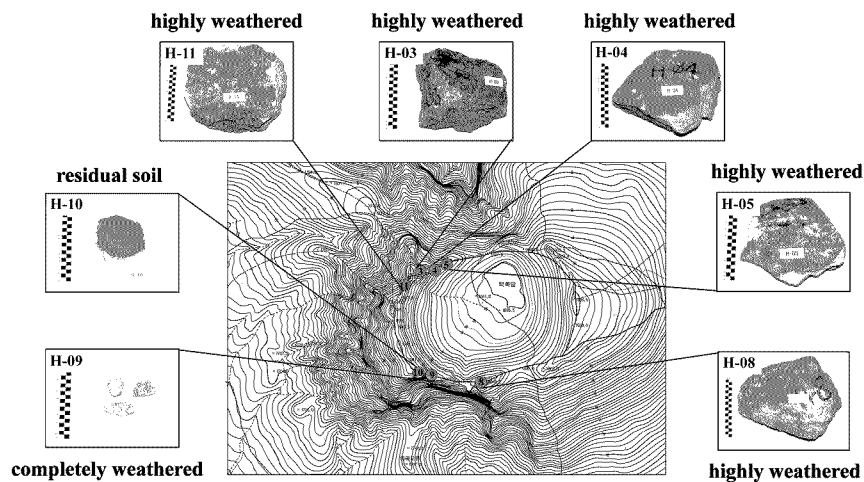


Fig. 2. Sampling sites of study area.

4. 분석결과 및 고찰

4.1 광물·암석학적 특성변화

분석결과 조면암의 구성 광물은 사장석, 알칼리장석, 휘석이며 편광현미경하에서 반상조직(porphyritic texture)과 조면암질 조직(trachytic texture)을 나타낸다. 반경으로 다양

한 크기의 사장석과 알칼리장석이 나타난다. 사장석은 주로 자형 및 반자형의 반정으로만 산출되며, 알바이트 쌍정 및 누대구조를 보이고, 중심부 혹은 연변부가 약하게 변질되었으며, 불규칙한 형태의 균열이 관찰된다. 석기(groundmass)는 래스상의 알칼리장석으로 구성되며 전형적인 조면압질 조직을 보여준다. 유색광물로서는 휘석이 대부분이며, 미세균열이 발달되고 있다(Fig. 3, 4).

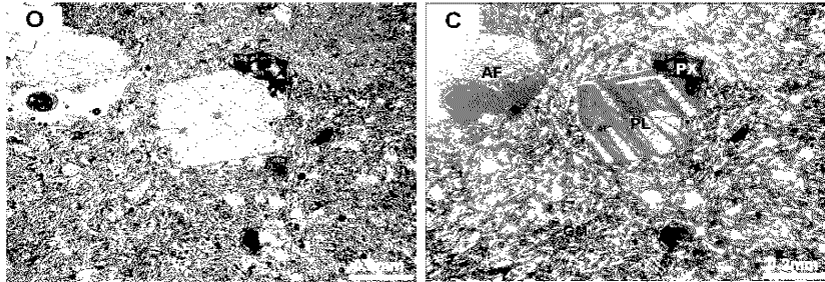


Fig. 3. Microphotographys of highly weathered trachyte in H-04 site. O: open nicol, C: cross nicol. AF: alkali feldspar, PL: plasioclase, PX: pyroxene.

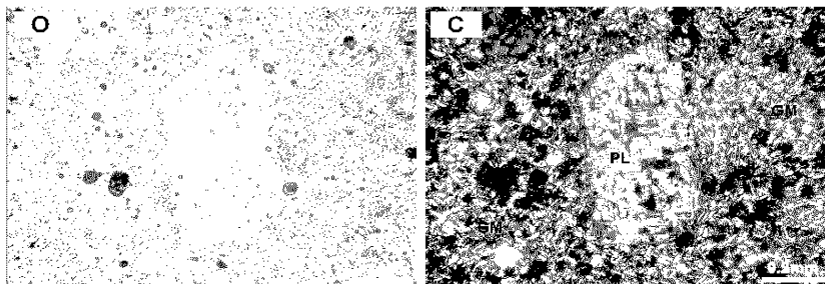


Fig. 4. Microphotographys of completely weathered trachyte in H-09 site.

4.1.1 심하게 풍화된 암석

석기 내에는 미세균열 및 공동이 발달하며 석기를 구성하는 래스상의 알칼리장석들은 대체로 뚜렷한 입자형태를 유지하고 있다(Fig. 5). WDS 분석에 의하면 K, Na 성분은 알칼리장석 입자의 내부와 외부에서 뚜렷한 변화를 보여주지 않으며, 미세균열 및 공동 주변에서도 K, Na 성분변화가 거의 확인되지 않는다. 이는 풍화에 따른 K, Na 화학성분의 용탈이 미미함을 의미한다. 반정으로 나타나는 알칼리장석, 사장석, 휘석 내에 불규칙한 균열과 공동이 관찰되나 뚜렷한 입자형태와 경계를 유지하고 있다. 석기와 반정 내에는 불규칙한 균열과 열린 공극이 관찰되나 화학적 풍화작용에 의한 용해공극(solution pore and channel)의 형성을 지시할 수 있는 뚜렷한 증거인 점토광물이나 2차 광물의 충전이 거의 관찰되지 않는다(Fig. 6).

전자현미경으로 장석입자 표면을 관찰한 결과 미약한 표면박리 현상이 일어나고 있으나 원래의 장석결정 구조를 잘 유지하고 있다(Fig. 7). 풍화된 암석의 장석표면에 피복되는 미세한 고령

토 박편들이 거의 관찰되지 않으며, 이는 화학적 풍화작용의 진행정도가 매우 미미함을 지시한다.

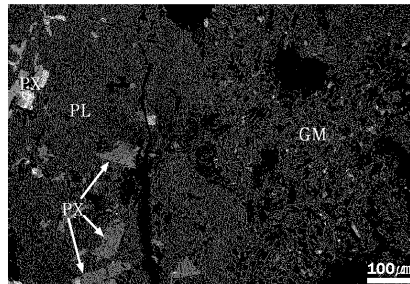


Fig. 5. BSE images of highly weathered trachyte in H-05 site. PL: plagioclase, PX: pyroxene, GM: groundmass.

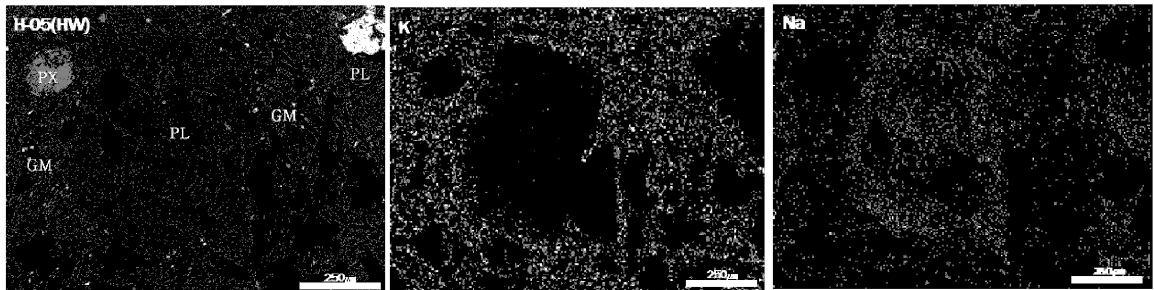


Fig. 6. BSE images and WDS maps of highly weathered trachyte in H-05 site (X280).

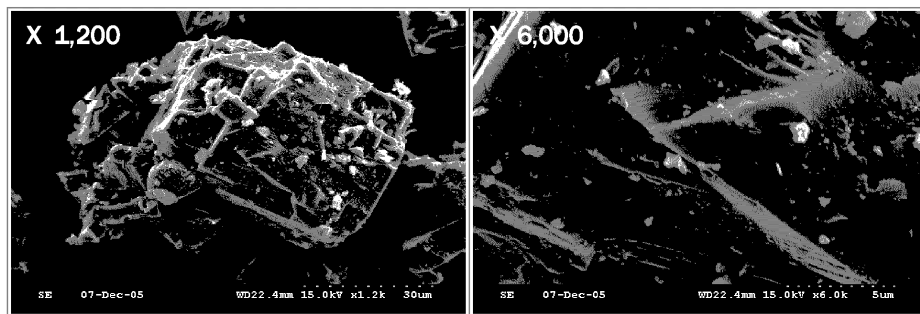


Fig. 7. SE images of highly weathered trachyte in H-05 site.

4.1.2 완전히 풍화된 암석

편광현미경 및 전자현미경 관찰 결과 석기 내에는 심한 풍화단계보다 상대적으로 많은 미세균열과 공동이 관찰된다. 석기를 구성하고 있는 알칼리장석의 분포가 심한 풍화단계에서보다 느슨하게 분포하나 래스상의 알칼리장석들은 여전히

뚜렷한 입자형태를 유지하고 있다(Fig. 8).

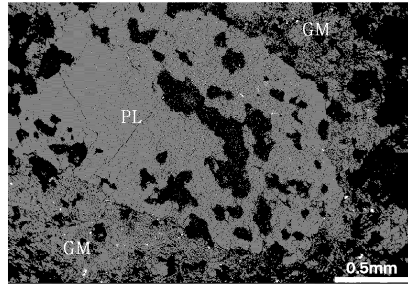


Fig. 8. BSE images of completely weathered trachyte in H-09 site.

WDS 분석결과 K, Na 성분은 입자내부와 외각부에서 뚜렷한 변화를 보이지 않으며, 이는 풍화에 따른 K, Na 성분의 용탈이 미미함을 의미한다. 알칼리장석, 사장석 및 휘석의 반정 내에 불규칙한 균열과 미세공동이 관찰되나 여전히 뚜렷한 입자의 형태와 경계를 유지하고 있으며, 균열과 공동 내에는 이차변질광물이나 점토광물이 형성되지 않고 있으며 균열이 틈도 여전히 좁은 상태이다. WDS 분석결과 반정의 입자경계, 균열 및 공동부근에서 K, Na 등의 화학성분 변화가 뚜렷하게 확인되지 않는다(Fig. 9).

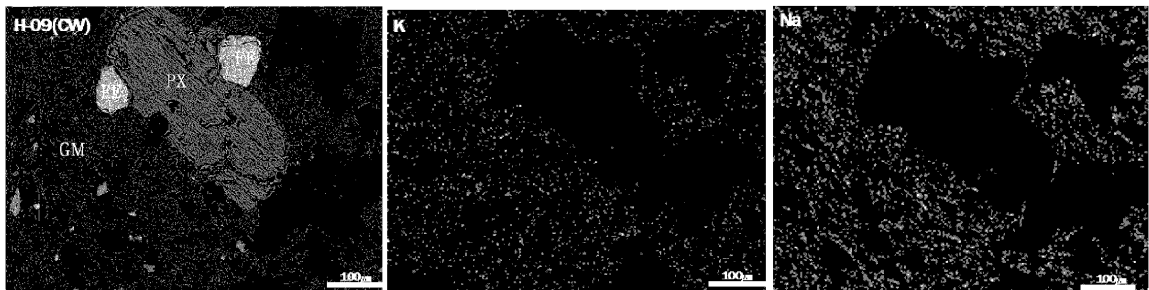


Fig. 9. BSE image and WDS maps of Pyroxene in H-09 site (X810).

반정으로 나타나는 사장석, 알칼리장석 및 휘석에는 심한 풍화단계에서보다 더욱 많은 불규칙한 균열과 미세공극이 관찰되나, 여전히 입자경계는 뚜렷하다. 입자의 경계, 균열 및 공동 부근에서 장석반정의 성분 변화가 거의 확인되지 않으며 이차변질 광물이나 점토광물이 형성되어 있지 않다. 이는 화학적 풍화작용이 본 풍화단계에서도 미미하게 진행되고 있음을 지시한다.

장석입자의 표면을 전자현미경으로 관찰한 결과 장석은 여전히 원래의 결정상태를 잘 유지하고 있다. 장석표면에서의 표면 박리는 심한풍화(HW) 단계에서 보다 더욱 현저하지만 화학적 풍화산물인 고령석 등 점토광물의 박편은 거의 관찰되지 않으며 (Fig. 10), 이는 본 단계에서도 화학적 풍화작용이 미약하게 진행되고 있음을 의미한다.

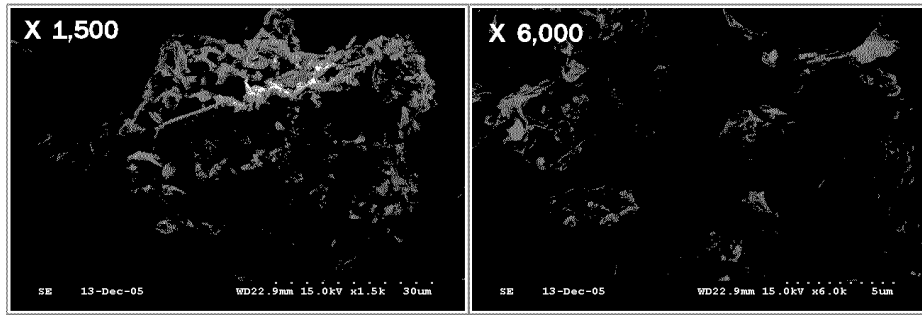


Fig. 10. SE images of completely weathered trachyte in H-09 site.

4.1.3 풍화잔류토

풍화잔류토에 대한 전자현미경 관찰결과 장석의 결정에서 현저한 표면박리 현상이 진행되고 있으며 표면이 거칠고 결정형도 파괴되어 있다. 장석의 표면과 벽개면을 따라 풍화가 진행되어 많은 양의 박편이 형성되어 장석표면에 피복되어 있으며, 대부분 K와 Na 성분이 소량 용탈된 장석의 파편으로 점토광물로 보이는 박편은 거의 관찰되지 않는다(Fig. 11).

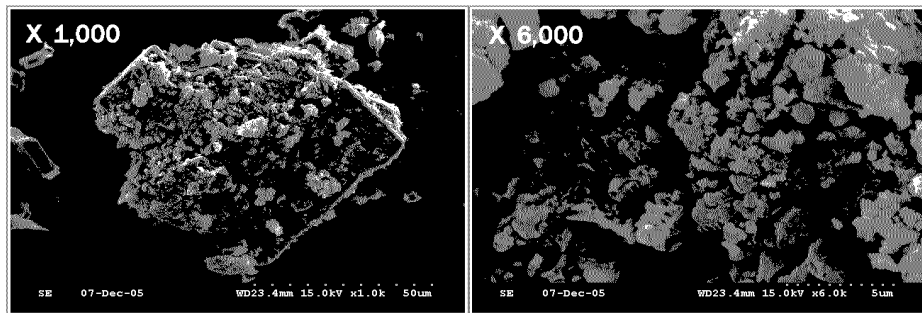


Fig. 11. SE images of Residual soil in H-10 site.

4.2 물리적 특성변화

백록담 정상부에서 풍화단계별로 채취된 한라산조면암 대하여 풍화에 따른 물성변화를 고찰하였다. 물성시험은 시료성형이 가능한 HW 등급의 5개의 시료(H-03, H-04, H-05, H-08, H-11)을 대상으로 수행하였다. 육안으로 5개의 HW 등급 시료를 풍화도에 따라 세밀하게 등급화 하는 것이 불가능하므로 일반적으로 공학적 풍화지수로 가장 신뢰성이 높게 평가된 흡수율과 공극율(이창섭, 2005)을 이용하여 상대적인 풍화도를 결정하였으며, 화학적 특성변화를 고찰할 경우에도 HW 등급내의 상대적인 풍화도를 활용하였다.

HW 등급의 한라산조면암의 비중은 1.856~2.117(평균: 2.041)의 범위를 보이고, 전체적으로 풍화가 진전됨에 따라 일정하게 감소되는 경향이 나타난다(Fig. 12). 흡수율은 광물 입자간의 공극, 광물의 벽개면, 광물 내의 미세균열 등에 의해 흡수되는 모든 수

분의 함량을 측정하여 산정하였으며, 풍화단계에 따라 8.283 ~ 14.727%(평균: 10.233%) 범위에서 뚜렷한 증가추세를 보여준다. 공극율은 시료전체의 체적에 대한 공극의 비를 백분율로 표시하며 17.486 ~ 27.051%(평균: 20.555%)의 범위를 보인다. 공극율의 증가는 풍화에 의한 미세균열 및 공극의 증가로 설명될 수 있으며, 풍화진전에 따라 흡수율과 비슷한 증가경향을 보여주므로 풍화정도를 지시하는 풍화지수로 사용될 수 있다. 암석의 탄성과 속도(V_p , V_s)는 암석내부의 결함이나 공학적 성질의 약화와 밀접하게 관련되며, 일반적으로 암석이 치밀하고 신선할수록 탄성과 속도가 빠른 것으로 알려져 있다. 실험결과 P-파 속도(V_p)는 1,758 ~ 2,344m/sec(평균: 2,021m/sec), S-파 속도(V_s)는 1,427 ~ 1,992m/sec(평균: 1,611m/sec)의 범위를 보여주며, 한라산조면암의 풍화가 진전되면서 탄성과 속도가 감소되고 있다. 일축압축강도는 10.514 ~ 29.131MPa(평균: 20.99MPa)이며, 풍화진전에 따른 강도 저하는 미세균열 및 공극의 증가에 기인하는 것으로 해석된다. 점하중강도와 압열인장강도도 풍화진전에 따른 감소 경향을 나타낸다. 점하중강도와 압열인장강도 또한 풍화진전에 따라 감소한다.

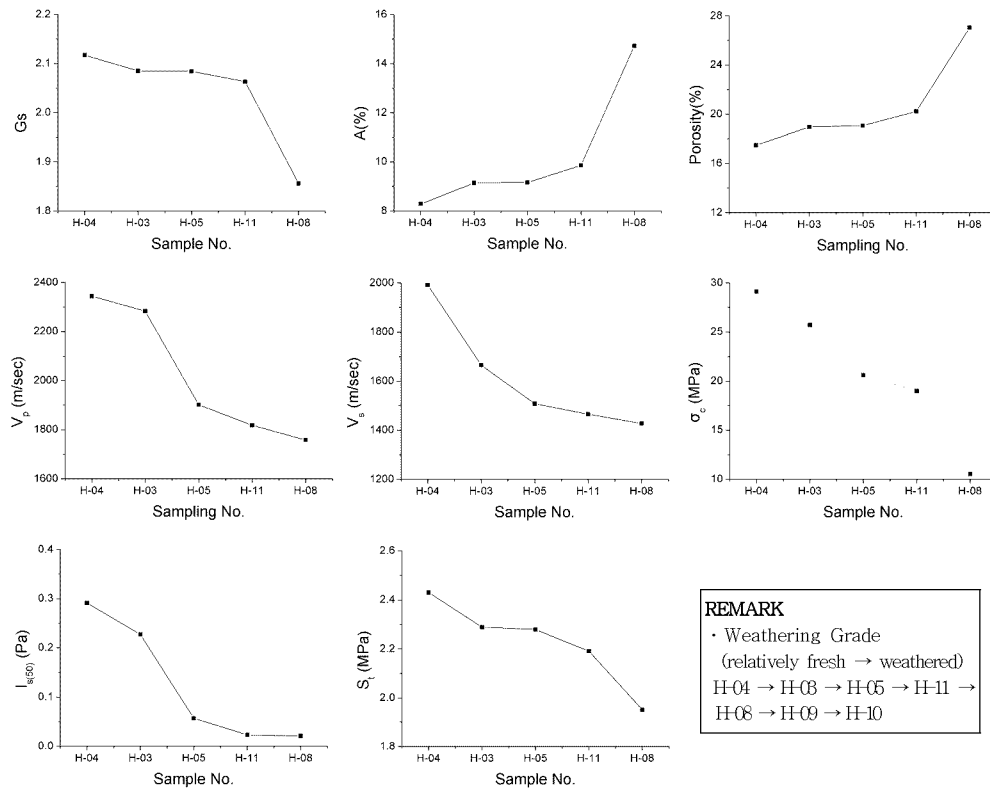


Fig. 12. Variation of physical index properties with respect to the different weathering grades of HW samples.

4.3 화학적 특성변화

풍화과정에서 화학성분의 거동은 여러 연구자들에 의해 논의되어 왔다. Gupta et.

al.(2001)는 인도의 화강암에 대한 풍화연구에서 주성분 원소의 이동도는 $Na > Ca > K > Mn > Mg > Si > Fe > Al > Ti$ 의 순서로 제시하였으며, 일반적으로 Na, K, Ca는 이동도가 큰 원소이고 Al, Ti, Si 등은 이동도가 낮은 원소로 알려져 왔다. 풍화단계별로 한라산조면암의 주성분 원소의 변화와 이동도를 확인하기 위해 HW, CW, RS 등급의 시료에 대한 X-선 형광분석(XRF)을 실시하여 SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO, MgO, CaO, Na_2O , K_2O , P_2O_5 , LOI 등 11개 성분을 분석하였다. XRF 분석결과 주성분 원소의 함량은 풍화도에 따라 일정한 증감의 경향을 보여주지 않고 불규칙적이다. 일반적으로 풍화도에 따라 뚜렷한 증가 또는 감소 경향을 보여주는 K_2O , Na_2O , CaO, MgO, LOI 등도 조사지역의 경우에는 일정한 증감의 경향이 없이 불규칙한 변화를 보여준다(Fig. 13).

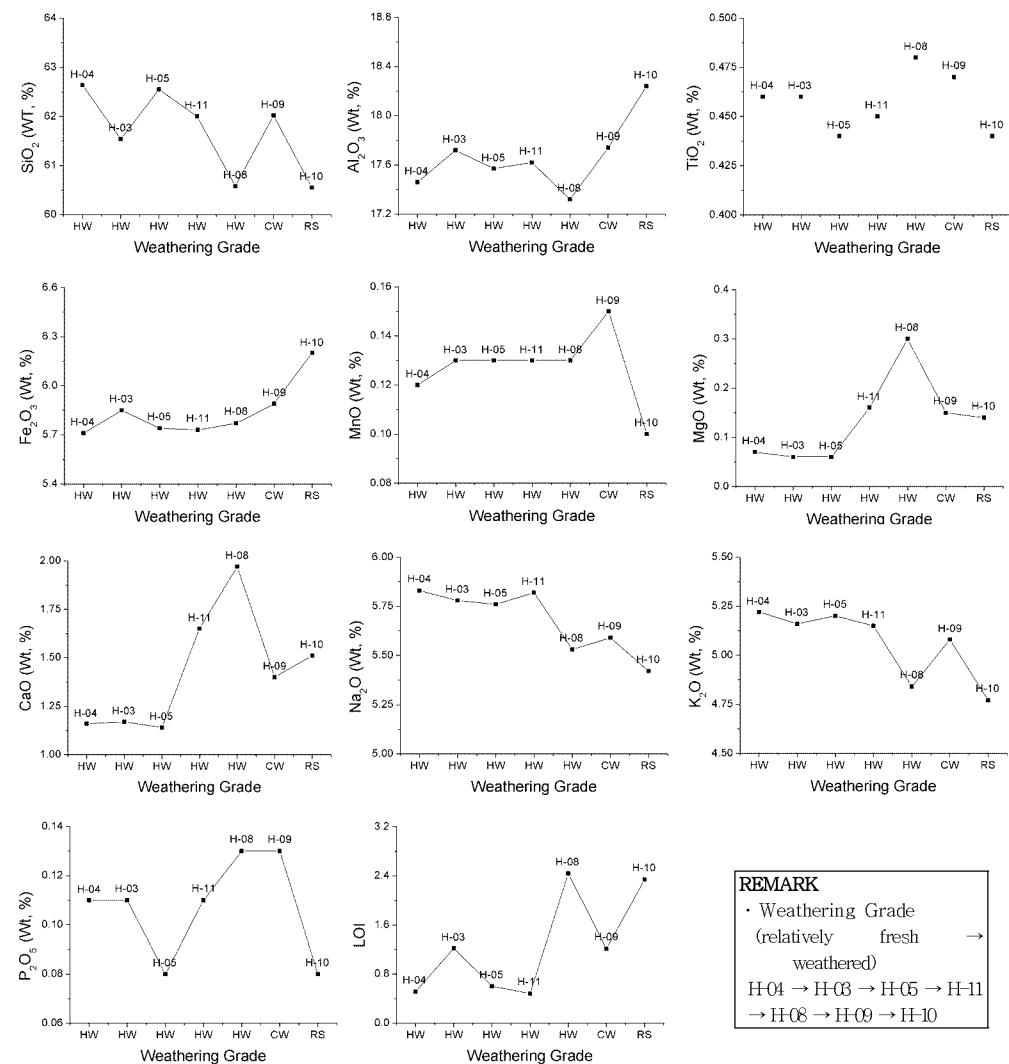


Fig. 13. Variation of weight percent of major element in Hallasan trachyte.

한라산조면암을 구성하는 주성분 광물은 알칼리장석, 사장석, 휘석 등이다. 일반적으로 화학적풍화작용이 진행되면 장석의 풍화에 의해 K_2O , Na_2O , CaO 등의 성분이 일정한 감소 경향을 보여주며, Mg, Fe 등은 휘석의 풍화에 의해 풍화초기 단계에서는 감소되다가 풍

화작용 후기 단계에 유기물이 풍부한 점토광물이 이를 흡수함에 따라 증가하게 된다. 그러나 조사지역에 분포된 한라산조면암에서는 이러한 일반적인 경향을 보이지 않고 불규칙적인 변화를 보여준다(Fig. 13). 이와 같은 결과는 조사지역에서 진행되는 풍화작용이 화학적 풍화작용보다는 다른 원인에 기인되었음을 의미하며, 전자현미경 관찰에 의해서 풍화진전에 따른 2차 변질광물이나 점토광물이 거의 관찰되지 않은 점도 이러한 사실을 입증한다.

5. 풍화미커니즘

암석의 화학적 풍화작용이 진행됨에 따라 용탈, 가수분해, 수화작용 등이 발생되며 암석 내 새로운 광물이 형성되어 총체적인 화학적 조성이 변화된다. 암석의 화학적 풍화정도를 정량적으로 기술하기 위하여 조암광물 중에서 풍화에 대한 안정도가 높은 성분과 이동성이 큰 성분을 이용하여 다양한 화학적 풍화지수가 제안되었다. 기존에 제안된 화학적 풍화지수들을 산정하여 조사지역에 분포하는 한라산조면암의 화학적 풍화작용에 대해 고찰하였다. HW 등급의 5개 시료에서 풍화도 진전에 따른 풍화지수는 일정한 증가 또는 감소경향은 나타나지 않고 있다(Fig. 18). 특히, 풍화정도를 잘 반영하는 것으로 알려진 CWI, CIW, ACN, WPI, CIA 및 LOI 등도 풍화진행에 따른 지수변화에 대해 일정한 경향을 보여주지 않는다. HW ~ RS 등급의 전체시료에 대한 화학적 풍화지수 역시 풍화진행에 따른 일정한 경향을 나타내지 않으며 주된 조암광물들의 화학성분의 함량 변화도 불규칙적 이므로, 백록담 일원의 한라산조면암에 대한 화학적 풍화지수의 적용성은 매우 낮은 것으로 판단되며, 이는 연구지역에서의 풍화작용 진행 과정에서 화학적 풍화의 영향은 매우 미약한 것을 의미한다.

풍화에 따른 광물조성의 변화와 새로운 광물의 형성을 확인하기 위하여 X-선 회절분석을 실시하였다. X-선 회절분석 결과에 의하면 한라산조면암의 주구성 광물은 장석과 휘석이며 소량의 크리스토파라이트가 포함된다(Fig. 15). 풍화가 진전됨에 따라 광물의 조성비는 거의 변화를 보여주지 않으며 HW 등급의 시료에서 나타나는 회절선의 위치와 강도는 CW 및 RS 등급의 시료에서도 거의 일정하다. HW 등급 시료에서 장석과 휘석의 화학적 풍화산물로 나타나는 점토광물은 확인되지 않으며, CW 등급 시료와 RS 등급에 속하는 시료에서도 점토광물이 확인되지 않는다(Fig. 16). 일반적으로 화학적 풍화작용이 진행될 때 장석의 풍화에 의해 점토광물이 형성되는데 장석을 다량 포함하는 한라산조면암의 풍화시료에서 점토광물이 확인되지 않는 것은 화학적 풍화지수 산출 결과에 의해 입증된 바와 같이 연구지역에서 화학적 풍화작용이 미약하게 진행되었음을 의미한다.

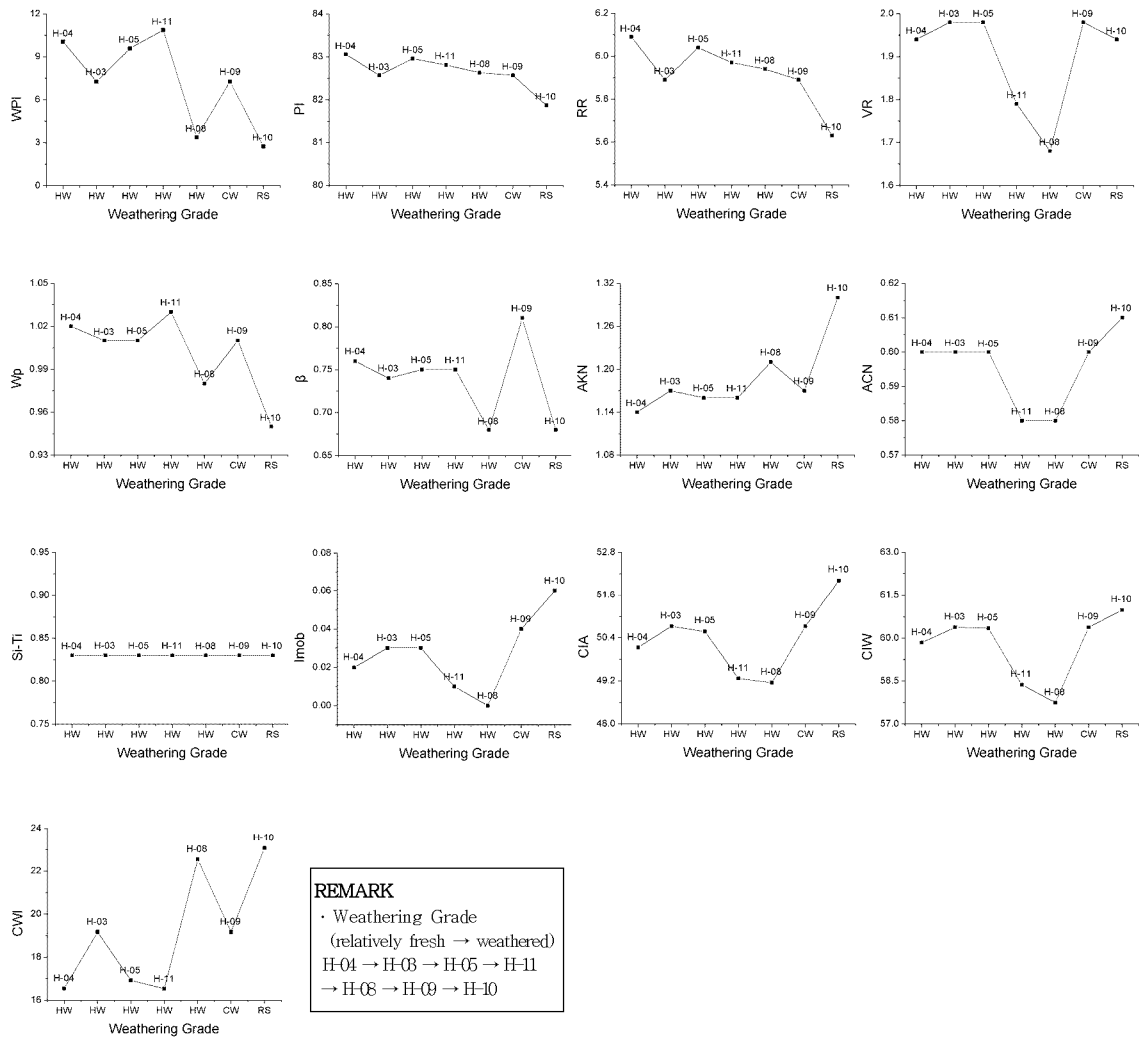
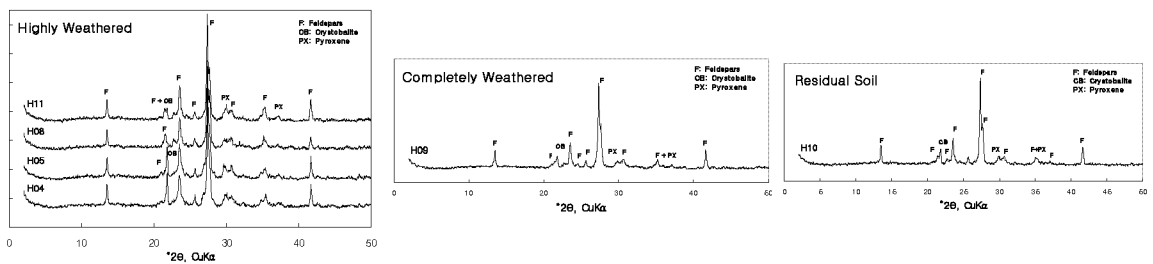


Fig. 14. Variation of chemical weathering indices with weathering grades in study area.



(a) Highly weathered trachyte (b) Completely weathered trachyte (c) Residual soil

Fig. 15. X-ray diffraction patterns of weathered trachytes and residual soil.

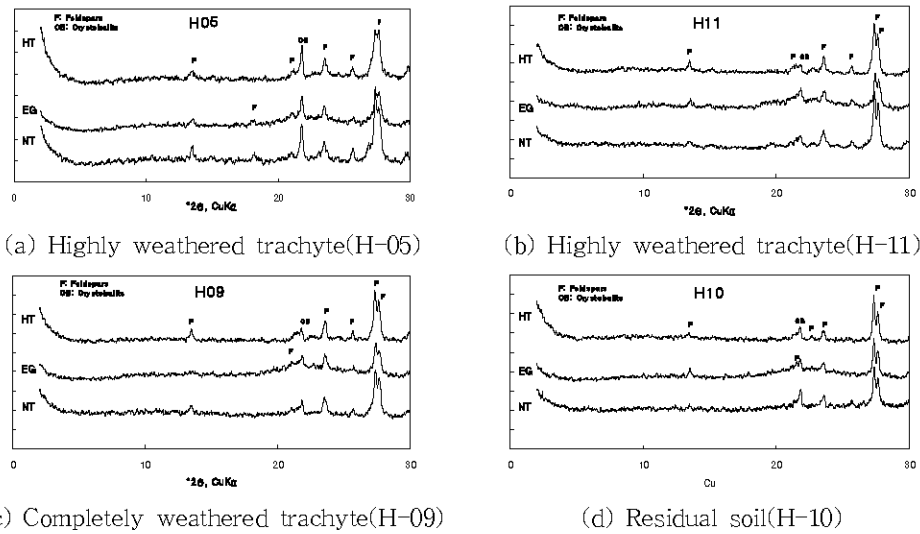


Fig. 16. X-ray diffraction patterns of clay fraction collected from weathered trachytes and residual soil. NT – not treated, EG – treated with ethylene glycol, HT – heat treated at 550°.

한라산 백록담을 구성하는 주요 암체인 한라산조면암은 상승하는 마그마가 굳어져 형성된 용암돔(lava dome)이다. 용암돔의 외각부는 냉각에 의해 냉각절리(cooling joint) 특히, 수직 절리가 발달하여 절리면을 따라 쪼개짐이 발생하게 된다(Fisher, 1979). 용암돔인 한라산조면암의 관입시기를 $0.025 \pm 0.008\text{Ma} \sim 0.07 \pm 0.01\text{Ma}$ 로 고려할 때 한라산조면암은 플라이스토세 후기의 Wisconsin 빙하기에 형성된 것으로 판단된다(Won et al., 1986, Tamanyu, 1990). 백록담 일원의 기후조건은 식생분포에서 알 수 있듯이 냉대림이 분포되는 지역이며, 한라산조면암은 빙하기와 홀로세 이후의 후빙기를 거쳐 현재까지 냉대기후대에 위치하고 있는 것으로 사료된다. 빙하지역 및 냉대지역의 경우 지표는 연중 결빙과 해빙작용이 반복된다. 해빙에 의하여 수분이 암석의 공극이나 균열면을 채우고 있다가 다시 결빙되면 부피의 증가로 인해암석표면으로부터 동파(frost splitting)현상이 발생되며, 기존의 균열면에 내재된 수분이 결빙에 의하여 쪼개어지는 동결췌기작용(frost wedging)도 진행된다. 암석의 틈에 내재된 수분이 동결될 때에는 결정구조가 6각형인 빙정 즉, 암석의 광물들과는 성질이 다른 이질결정체가 형성됨과 동시에 약 9%의 부피증가로 인해 파괴가 가속화된다. 연구지역인 백록담의 한라산조면암에서도 용암돔의 외각부에 형성된 냉각절리(cooling joint)가 동파작용과 동결췌기작용에 의해 파괴되어 돌출지형과 지형의 요철 현상을 초래하였을 것으로 판단되며, 냉대기후인 한라산의 기후조건에서 동결췌기작용이 활발하게 진행되고 암석의 기계적 풍화작용이 연중 지속적으로 진행되어 암석의 약화와 암반의 붕괴를 초래한 것으로 판단된다.

6. 결론

1. 한라산 정상 백록담에서의 암벽붕괴는 백록담 일원에 넓게 분포하는 한라산조

면암의 풍화와 밀접한 연관성을 갖는다.

2. 백록담 지역에서 한라산조면암의 신선한 암석은 분포하지 않으며, 심한풍화(HW) 등급에서 풍화잔류토(RS)까지의 풍화가 진행되어 있다.
3. 조면암은 수직절리 및 층상절리의 발달, 박리로 인해 심한 지형기복 및 요철과 들출된 지형을 형성하고 있으며, 풍화 및 절리에 의해 암벽붕괴가 진행중이다.
4. 조면암은 플라이스토세 후기의 Wisconsin 빙하기에 형성된 이래 빙하기후와 백록담의 고도에 기인된 냉대기후 조건하에서 기계적 풍화작용에 의해 현재의 풍화상태와 지형을 형성하였으며, 화학적 풍화작용은 미미하게 진행된 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. 고정선, 윤성효, 강순석, 2003, 제주도 한라산 백록담 분화구 일대 화산암류의 암석학적 연구, 암석학회지, Vol. 12, no. 1, pp. 1~15.
2. 박기화, 이병주, 조등룡, 김정찬, 이승열, 최현일, 황재하, 송교영, 최범영, 조병욱, 장영욱, 장영남, 손병국, 전희영, 김용욱, 2000, 서귀포·하효리도폭(1:50,000 축척) 지질보고서, 제주도·한국자원연구소, 290p.
3. 제주도(2000), 한라산 기초조사 보호관리 계획수립, 제주도, 268p.
4. 이창섭(2005), 화강암의 풍화 특성과 물성변화에 대한 연구, 부경대학교 공학박사학위논문, 228p.
5. Fisher, R.V., 1979, Magma and volcanic rocks, Geology, 206p.
6. Gupta. A.S, Rao, K.S.(2001), Weathering indices and their applicability for crystalline rocks, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 60, No. 3, pp. 201~221.
7. Irfan. T.Y., Dearman,, W.R.(1978), Engineering classification and index properties of a weathered granite, Bulletin of Engineering Geology, Vol. 11, pp. 233~244.
8. ISRM(1981), Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 15, pp. 319~368.
9. Tamanyu, S.,(1990), The K-Ar ages and their stratigraphic interpretation of the Cheju Island volcanics, Korea. Bull. Geol. Surv. Japan, Vol. 41, no. 10, pp. 527~537.
10. Won, C.K., Matsuda, J., Nagao, K., Kim, K.H, Lee. M.W., 1986, Paleomagnetism and radiometric age of trachytes in Jeju Island, Korea Jour. Korean Inst. Mining Geology, Vol. 19, pp. 25~33.