

濟州 北西斜面 熔岩洞窟의 化學分析

건국대 지리학과 최무웅
건대 환경과학연구소 임종호

1. 머리말

火山活動 地域에서는 lava의 粘性, 酸度, 火山體로 부터의 供給量, 기반의 경사등에 의해 多様な 火山地形을 形成하고 있다. 濟州道 역시 과거 地質 時代를 통하여 수차례의 火山活動이 있었기 때문에 火山體를 中心으로 그 주변 지역에 용암동굴이 散在되어 관광 資源으로 큰 목을 하고 있는 동굴은 금령의 만장굴과 협재의 협재굴등이 그 대표적이라고 볼 수 있으며 규모 역시 世界的이라고 사료된다.

濟州道 火山洞窟이 일반에게 알려지기 시작한 것은 1960년초 협재동굴 내부의 제 2차 생성물을 보고 석회동굴이다 또는 火山洞窟이라고 매스컴을 통해 논쟁을 벌린후 부터이다. 그러나 學術的인 조사는 1977년에 이르러 제 1차 한일합동으로 동굴조사가 계기가 되어 연구에 활기를 갖게 되었다.

Ogawa (1978)은 용암동굴 생성과정의 地學的 고찰과 강승삼 (1978)에 의해 제주도 용암굴에 관한 연구, 박병수 (1981)은 濟州道 熔岩窟의 성인과 특성, 홍시환 (1981)의 제주 만장굴의 학술 조사보고서가 발표되었으며 松本大四 (1981)은 제주도 熔岩洞窟의 지질보고와 홍시환 (1983)의 우리나라 용암동굴의 地形構造分析등의 많은 연구가 되어왔다. 위의 연구들은 동굴연구에 큰 기초를 이룩했다고는 사료되나

대부분이 개괄적인 연구들이라고 볼 수 있다. 그러므로 제주도 동굴에 대한 계량적이고 분석적인 연구가 접근되어야 할 것이라고 사료된다. 이와 같은 문제점을 고려하여 필자는 제주도 북서사면을 조사 대상 지역으로 設定, 협재굴을 중심으로 동굴 내부의 岩石을 化學分析을 통해서 용암동굴 형성시기를 推定하는데 목적을 두었다.

2. 分析方法

협재 지역에 分布되어 있는 용암동굴인 협재, 쌍용, 황금, 소천굴을 대상으로 굴 내부의 岩石을 각 동굴별로 1kg씩 1회 시료를 채취했다. 샘플링은 1986년 3월 2~3일에 걸쳐 4地點을 실시했다. 동굴지형 과 지질은 같은 기간에 걸쳐 이루어졌다. 시료의 분석은 pH와 화학적 정량분석, X-Ray 정성분석 현미경분석을 실시했다. pH test는 건국대학교 생물학과에서 실시했으며 사용된 pH Meter는 PW9409 Model이다. 화학적 정량분석과 X-Ray 정성분석은 서울대학교 자원공학과에서 실시했다. 사용된 기기는 Rigaku X-Ray 2307 Model이다. 정량분석 항목은 SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O 등 7개 항목이다. X-Ray 분석에는 Target을 Cu이며 Filter는 Ni을 이용, 2θ 는 5° 에서 80° 로 Count range는 4,000 cps이다. 암석의 현미경 분석은 동력자원연구소에서 박편화하여 서울대 자원공학과에서 실시했다.

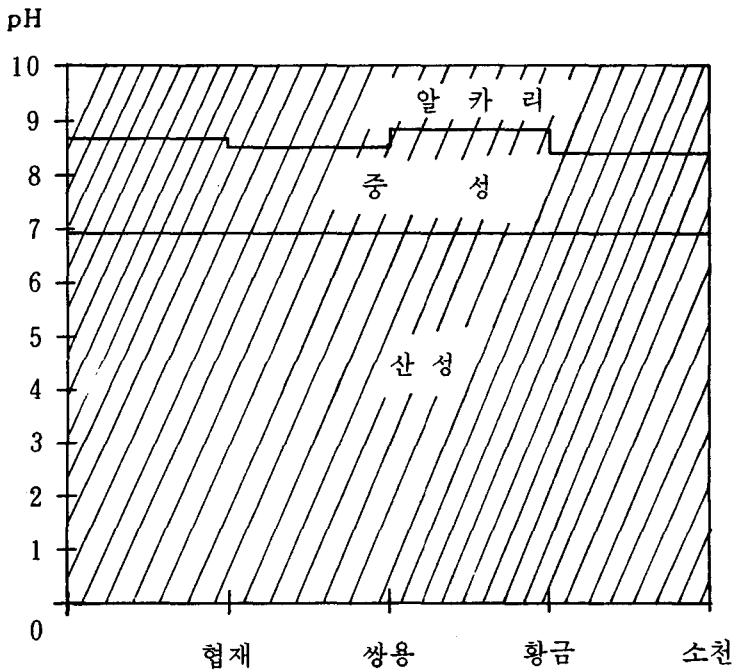
3. 地域개관

本 地域은 플라이오세로부터 제 4기에 걸쳐 火山活動으로 인해 용암대지로 형성되어있는 지형적 特性을 잘 나타내고 있는 흥미로운 地域으로 서귀포층 퇴적면상에 처음으로 용암대지를 형성한 화성암은 포선리 현무암이라 칭하고 있다. 현 해안지대는 파식과 해식에 의해 용암지역이 어느 정도 파괴 되었는지는 불확실하나 용암대지의 원형이 그대로 보존되어 있는 것으로 보아 해안지역이 어느 정도인지 추정할 수는 있을 것이다. 동굴이 많이 分布되어 있는 한림은 주로 acicular feid-psar olivine basalt이며 이 地域에 쌍용, 황금, 소천, 협재동굴이 存在해 있다.

협재동굴을 이루는 현무암층 上部에는 50 cm이상의 해양성 모래(패각사)로 피복되어 있으므로 地表面에서 공급되는 地下水가 패각사를 용해 협재동굴의 절리나 岩石의 기포를 통해 침투하여 동굴 내부에는 석회질 성분의 중유석과 석순이 2次 生成物로 동굴 내부에 존재해 있다. 쌍용굴은 2단으로 形成되어 있는 것이 特徵으로 협재동굴과는 Cave System을 이루고 있으며, 굴 내부에는 용암 중유석이 발달되어 있다. 소천굴은 그 형태가 Y자로 되어있는 것은 1次로 용암터널이 生成후 上部에서 時期的으로 다른 용암류가 흘러 또다른 용암터널을 형성함으로 2층 터널이 만들어졌다고 사료된다. 동굴의 말단부분은 용암으로 막혀 굳어져 막장을 이루는 것 같으나 이는 Cave System으로 볼때 협재, 쌍용굴등이 연결되었다고 하는 것이 타당할 것이다. 각 동굴의 길이는 협재굴이 109 m, 쌍용굴이 380 m, 소천굴이 3000 m, 황금굴이 1000 m로 소천굴이 가장 길다.

4. 分析 結果의 검토

lava의 酸度는 火山地形 形成에 중요한 因子로 作用함으로 本地域에서도 동굴지역의 岩石에 대한 pH測定 結果는 다음과 같다(그림 1).



〈그림 1〉 기반암의 pH

그림 1에서와 같이 협재굴의 pH값은 8.57, 쌍용 8.5, 황금 8.7 소천이 8.4로써 황금굴이 높은 알카리도를 나타내고 있다. 이 지역 岩石의 평균 pH 농도는 8.54 이고, pH 7.0에 가까울수록 동굴을 잘 발달시킨다고 볼 수 있다. 이 지역의 pH 값으로 보아 연구 발표되었

던 값과 같은 범위내에 속하고 있다. 그러므로 본 地域의 lava 는 流動性이 강하여 용암동굴을 형성했다고 사료된다.

본 地域의 X-Ray 正性分析 結果는 그림 2 와 같다. 그림 2 에서와 같이 4 개의 용암동굴 공히 장석이 가장 많이 검출되었고 2 차 광물인 Kaolinite, Montmorillonite 는 검출되지 않은 것으로 보아 동굴을 이루는 기반 岩石들은 매우 신선하다고 추정할 수 있다. 시료 채취 지점별로 장석 함유율등의 比는 제일 큰 순으로 쌍용, 소천, 협재, 황금 순위이다. 그림 2 에서 보는 바와 같이 장석의 Peak 가 거의 비슷한 것은 아마도 같은 암종이기 때문이라고 사료된다. X-Ray 分析은 2θ 가 5° 에서 80° 까지 실시했으나 그 분포가 20° 에서 32° 사이에 잘 나타나기 때문에 40° 까지만 나타냈다.

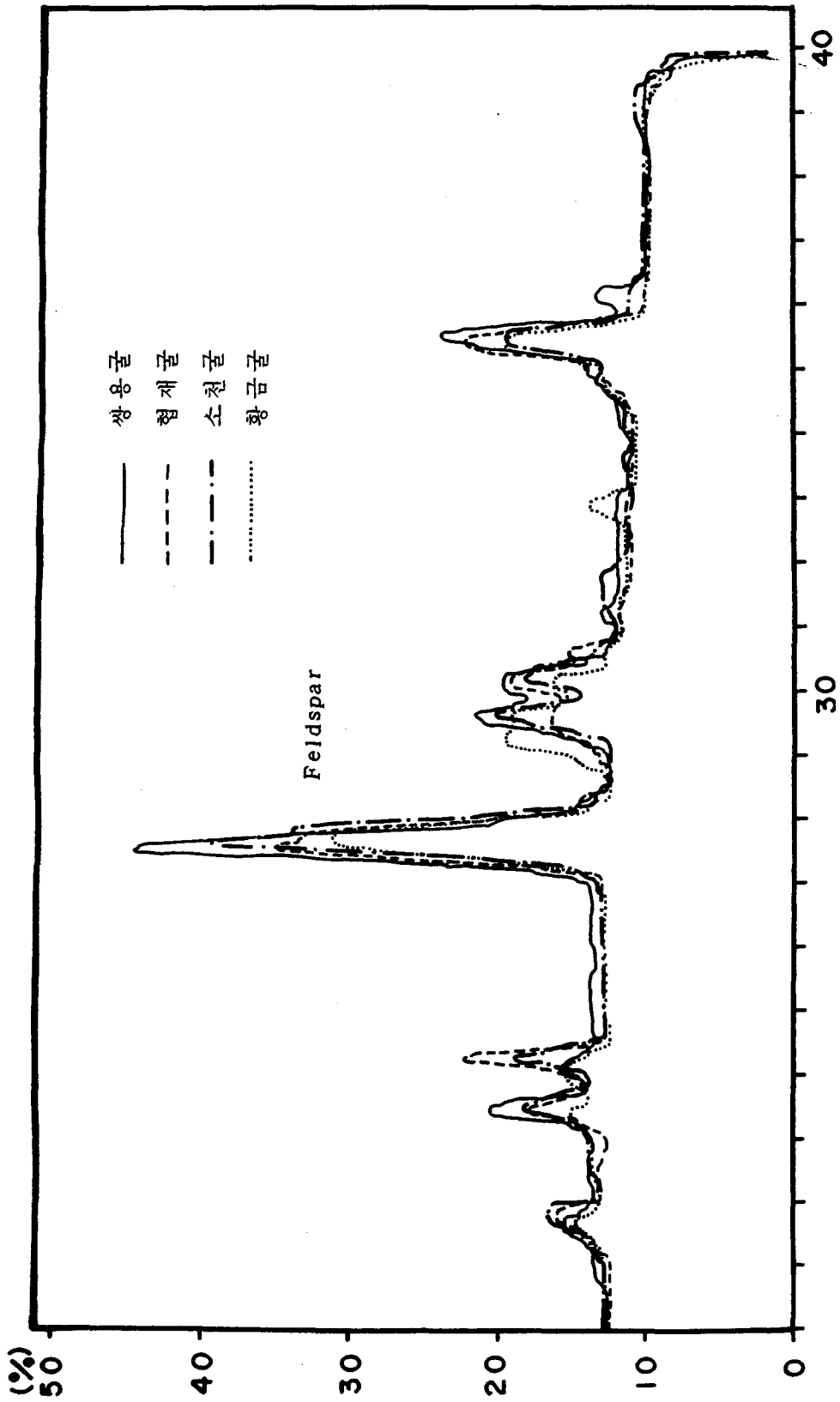
岩石의 박편을 만들어 현미경으로 고찰결과는 협재동굴의 경우 사장석, 감람석 휘석이 있으나 휘석은 풍화되어 세립질 현상으로 구성되어 있다 (그림 3-a). 쌍용동굴의 경우는 사장석이 보다더 치밀하

(표 1)

조사지역 기반암의 화학분석

(단위 : %)

동 굴	분석명	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	합 계
협 재 굴		47.5	19.3	10.8	8.8	6.8	3.2	0.8	97.2
쌍 용 굴		46.2	19.8	11.7	9.1	6.2	3.4	0.7	97.1
황 금 굴		48.7	18.8	10.7	7.8	7.5	3.1	0.7	97.3
소 천 굴		47.2	18.5	12.3	9.3	6.2	3.5	0.6	97.6
평 균		47.4	19.1	11.4	8.75	6.7	3.3	0.7	97.35



(그림 2) 기반암의 X-Ray 정성분석



a



b



c



d

〈 그림 3 〉

기반암의 현미경 분석

(조사지역의 기반암을 편광현미경으로 촬영한 것이다. 배율은 100 배이며, 그림 a는 협재굴, b는 쌍용굴, c는 황금굴, d는 소천굴이다. 사진에서 보는 바와 같이 사장석이 가장 많다.)

며 암석이 매우 신선도를 나타내고 있는 것이 특징이다 (그림3-b). 황금굴은 장석의 량이 적으며 풍화가 진행되고 있다 (그림 3-c). 소천굴은 사장석과 휘석이 풍화되고 있다 (그림 3-d).

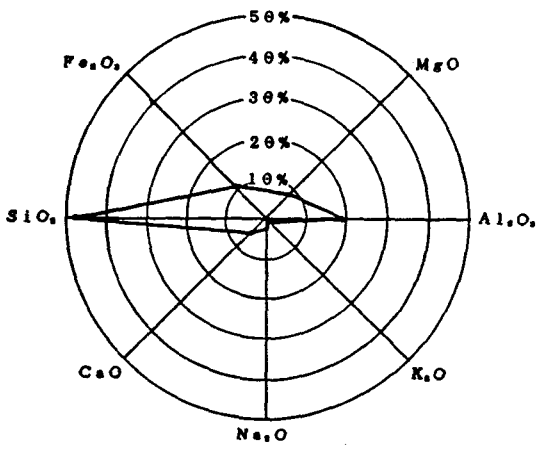


그림 4. 협재동굴의 화학분석

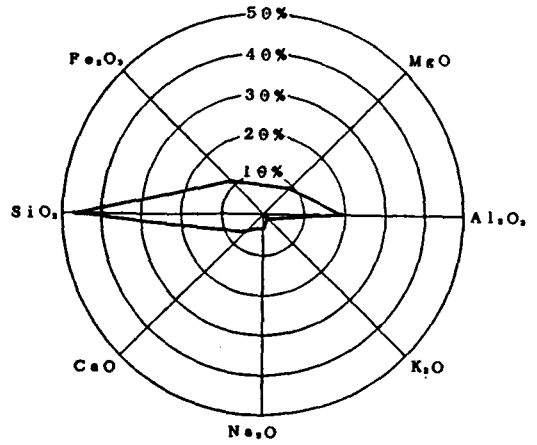


그림 5. 쌍용동굴의 화학분석

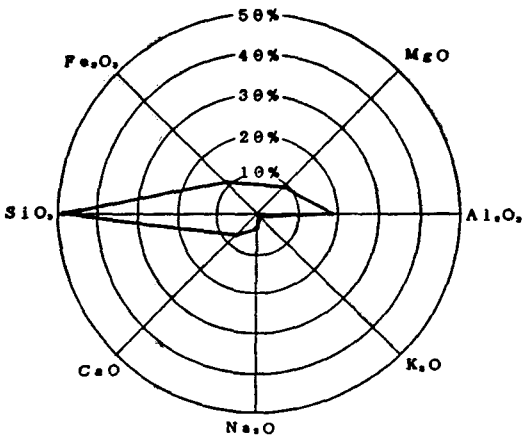


그림 6. 황금동굴의 화학분석

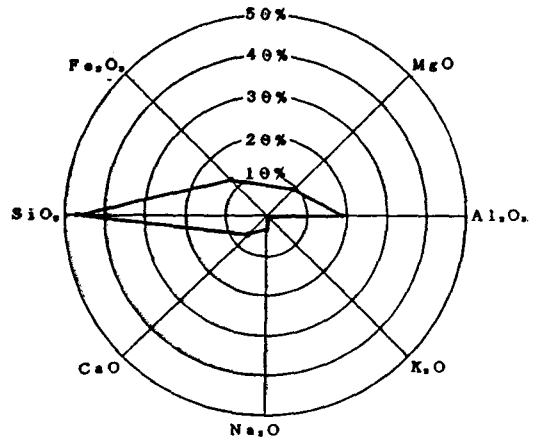


그림 7. 소천동굴의 화학분석

암석의 化學的 定量分析은 표 2와 같다. 그림 4에서 7까지 나타난 것과 같이 각 동굴이 SiO_2 는 46~49% 포함되어 있으며, Al_2O_3 는 18~19%, Fe_2O_3 는 10~12%, MgO 는 8~9%, CaO 는 6~7%, Na_2O_3 3~3.5%, K_2O 는 0.6~0.7%의 범위로 分布를 이루고 있다. 化學 성분비로 보아 4개의 동굴은 같은 시기에 이루어진 것으로 사료되며, SiO_2 의 함유량에 따라서 용암의 산도를 구분하면 염기성으로 구분되고 있다. 염기성 용암은 온도가 높고 粒性이 적은 것이 특징임으로 유동성이 크기 때문에 용암동굴을 형성했다고 사료된다.

5. 요약

협재를 중심으로 실시한 4개 동굴의 化學分析을 검토한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

pH 값은 8.4에서 8.7로 알카리성을 나타내므로 기반암 등은 동질성을 갖고 있다.

X-Ray 정성분석은 장석이 가장 많으나 2차광물은 전혀 검출되지 않았다. 그러나 4개의 시료가 같은 peak을 나타내므로 동질의 암석으로 판정되었으며 이는 편광 현미경에서 본 구조와 동일하다. 정량분석은 SiO_2 가 46.2%에서 48.7%로 염기성 암석으로 분류된다. 동굴의 지리적 조건과 지형형태 및 化學分析 값으로 보아 4개의 동굴은 동일시기에 형성되었다고 추정가능하다.

(試料分析을 도와주신 서울대학교 자원공학과 전 효택 교수님과 오대균 선생님께 감사의 말씀 드립니다.)

〈참 고 문 헌〉

1. 한국동굴학회지, 1976, Vol 2, No 2, 한국동굴학회.
2. 한국동굴학회지, 1978, Vol 3, No 3, 한국동굴학회.
3. 한국동굴학회지, 1979, Vol 4, No 4, 한국동굴학회.
4. 동굴학회지, 1980, Vol 5, No 6, 한국동굴학회.
1981. Vol 6, No 7, 한국동굴학회.
5. 동굴연구, 1983. Vol 1, No 1, 한국동굴협회 일본지회본부.
6. 동굴연구, 1985. Vol 10, No 11, 한국과학기술 단체총연합회.