한국의 풍화혈 연구[1)]

김 태 석[2)]
지리학 박사, 동국대학교 사범대학 지리교육과

암석이 물리적·화학적 풍화작용을 받은 결과 암석의 표면에 형성된 요형(凹形)의 미지형을 풍화혈(風化穴, weathering pits)이라 한다. 풍화혈은 크게 타포니(tafoni), 나마(gnamma), 그루브(groove) 등 세가지 형태로 구분된다(한국지리정보연구회, 2006). 타포니는 암괴의 측면에 동굴 형태로 발달한 풍화혈로서 발달 위치에 따라서 벽면타포니(side-wall tafoni), 저면타포니(basal tafoni)로 구분하고 규모나 분포 특징에 따라서 벌집형 타포니(honeycomb tafoni)를 따로 구분하기도 한다. 나마는 평탄한 암석면이나 토르, 보른하르트 혹은 인셀베르그 등의 암체(岩體) 상부 평탄면에 형성된, 원형에 가까운 풍화혈(hollows)을 말하며 풍화호(weathering pits, weathering pan)라고도 한다. 그루브는 토르 혹은 인셀베르그의 암벽면을 따라 수직으로 발달한 밭고랑 형태의 풍화혈이며 플루트(Flut), 플루팅스(Flutings), 그라니트 카렌(Granitkarren), 그라니트 릴렌(Graniterillen)이라고도 불린다(권동희, 2006).

지질조건 및 발달위치

풍화혈은 석회암이나 사암, 화산암 등 비결정질 암석에서도 잘 발달하지만, 주로 화강암과 같은 결정질 암석에서 발달한다. 화강암은 우리나라 전체 국토의 약 30%를 구성하고 있는 암석으로서 단일암석으로는 우리나라에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있다. 한반도의 화강암은 주로 쥐라기에 형성된 대보화강암류와 백악기에 형성된 불국사

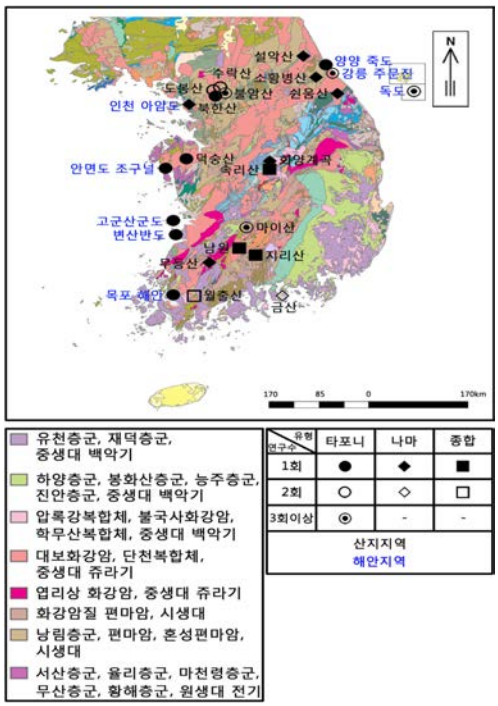

그림 1. 한국의 지질과 풍화혈의 분포(박지선·권동희, 2013)

1)The Study of Korean Weathering Pits
2)KIM, Tae-Suk, Department of Geography, Dongguk University, Seoul; E-mail: milk500ml79@naver.com

화강암류가 주를 이루고 있다. 이들은 한반도 전체에 흩어져 분포하며 주로 옥천변성대 이북 지역은 대보화강암류가, 그리고 이남지역은 불국사화강암류가 우세하다(대한지질학회, 1999). 화강암은 조립질 암석으로서 입상붕괴와 같은 풍화작용을 받기 쉬워 그 결과로 보른하르트(Bornhardt), S자형 암벽면(Flared slope), 토르(Tor)와 같은 큰 규모의 지형에서부터 타포니(Tafoni), 나마(Gnamma), 그루브(Groove)와 같은 작은 규모의 미지형들이 지표상에 분포한다. 따라서 풍화작용에 의해 형성된 각종 화강암 풍화지형들은 한반도의 지형기복을 이해하는 데에 매우 중요하다(그림 1).

풍화혈 중 타포니는 산지와 해안에 관계없이 곳곳에 분포하는데 역암으로 이루어진 마이산을 제외하면 대부분이 중생대 쥐라기에 관입한 대보화강암과 백악기에 관입한 불국사화강암의 분포지대를 따라 분포하고 있다. 특히 타포니는 해안지역에도 비교적 많이 분포하고 있는데 이는 바람이나 파랑에 의해 공급되는 염분이 지표 위에 돌출되어 있는 암석의 벽면에 쉽게 부착되어 타포니를 발달시키는 풍화가 촉진된 것으로 보인다(박지선·권동희, 2013; 그림 2, 3).

나마는 타포니와 마찬가지로 주로 화강암을 기반으로 하는 지역의 산지, 그것도 기반암이 노출된 석산의 정상부에 집중적으로 발달해 있다. 하지만 타포니와는 달리 해안지역에서는 많이 발달하지 않았는데 이는 토

그림 2. 산지에 발달한 타포니(불암산)

그림 3. 해안에 발달한 타포니(박지선·권동희, 2013)

그림 4. 산지에 발달한 나마(속리산)

그림 5. 해안에 발달한 나마(박지선·권동희, 2013)

르나 암체 상부 평탄면에 주로 형성되는 나마의 발달 위치적 특성과 관련이 있는 것으로 보인다. 파랑의 영향을 직접 받지 않는 높은 고도의 해식애나 시스택의 상부면을 제외하면 나마 발달이 유리한 해안지역의 평탄한 암석면은 현재 파랑의 침식을 직접 받는 파식대로 이루어져 있기 때문에 나마의 발달이 상대적으로 미약하다(그림 4, 5).

형성원인

풍화혈의 주된 형성원인으로 수분과 염분이 있다. 먼저, 수분과 관련되어서는 지중으로의 수분침투에 의한 화학적 심층풍화에 기인한 것이 있으며, 지상에서의 수분침투와 동결·융해에 의한 입상붕괴와 같은 기계적 풍화작용에 의한 것 등이 있다. 다음으로 물속의 염분 및 바람에 운반된 염분에 의한 기계적(화학적) 풍화에 의한 원인도 있다. 염분에 의한 풍화(염풍화, salt weathering)는 대부분이 염정의 성장으로 인한 기계적 풍화로 알려져 있으나 화학적인 풍화도 염분에 의해서 나타난다는 결과가 일부 연구자들에 의해 제시되기도 하였다. 특히 타포니의 성인으로서 염풍화는 나마보다 더 많은 연구가 이루어졌는데 이는 타포니가 해안지역에 많이 발달해 있기 때문인 것으로 보인다.

절리(joint)는 풍화혈의 형성과 성장에 미치는 영향이 크다. 절리는 수분이 타포니 혹은 나마의 내부에 있는 절리 사이로 침투하여 동결·융해 및 건습에 의한 팽창과 수축을 반복하면서 암석의 기계적 풍화를 촉진시키기 때문이다. 또한 풍화혈 내부에 있는 절리가 아니어도 그 절리를 따라서 새로운 풍화혈이 형성되기도 한다(그림 6, 7).

형성과정

풍화혈의 형태 및 형성과정에 관한 연구들 중에서 일부는 풍화혈이 발달하는 기반암의 암석학적 특성에 주목하였다.

먼저, 타포니의 형성과정을 보면 화강암의 경우 이케다 히로시(1990)는 주문진 타포니 착색실험에서 타포니 내부 구역별 박리 정도를 측정하여 주문진의 타포니는 천정부를 중심으로 급속도로 확대되고 이에 따라 내부의 형상은 더욱 안쪽, 위쪽으로 향하여 돔형태로 발달하게 된다고 하였다. 역암이나 응회암 같이 각기 다른 풍화특성을 가진 역(礫)들과 이를 감싸고 있는 주변물질로 이루어진 쇄설암에 형성된 타포니는 역과 주변물질의 차별풍화에 따른 형성과정을 보이는

그림 6. 절리를 따라 발달한 나마(쉰움산)

그림 7. 교차된 절리에 발달한 나마(쉰움산)

데, 첫째, 역과 주변물질의 경계부에 물 혹은 바다에서 공급된 염에 의해서 풍화가 진행되기 시작한다. 둘째, 경계부에서 풍화의 진행으로 결국 역이 제거되면 그곳을 중심으로 위, 아래, 뒤쪽으로 풍화가 가속화되어 규모가 성장한다. 셋째, 계속되는 성장의 결과 인접해 있는 풍화혈과 결합하여 위, 아래쪽으로 풍화가 더욱 심해진다. 넷째, 계속되는 성장과 결합의 결과 전체적인 사면의 후퇴현상이 나타나며 기반암이 해체된다는 것을 제시하고 있다(성효현, 1982; 이승수, 2004; 그림 8).

나마는 화강암으로 이루어진 경우 첫째, 입상붕괴에 의해서 기반암 속에 있던 석영이 제거된다. 둘째, 석영이 제거되어 형성된 구멍이 계속되는 풍화작용에 의해 수평·수직적으로 성장한다. 셋째, 주변 나마와 병합·성장한다고 밝히고 있다(그림 9). 특히, 박효정(2008)은 나마 각각의 유형 별로 성장과정을 제시하였는데, 먼저 pan형은, 석영이 제거된 뒤 구멍의 벽면에 수분과 염이 정착하게 되고 그에 의한 수평적 확대가 이루

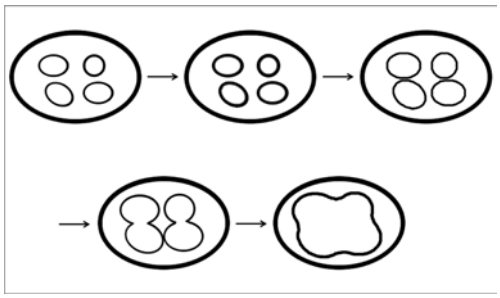

그림 8. 쇄설암(역암, 응회암)에서의 타포니 형성과정(박지선·권동희, 2013)

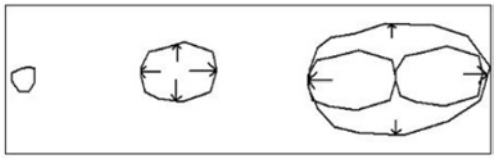

그림 9. 나마 발달 과정(박효정, 2008)

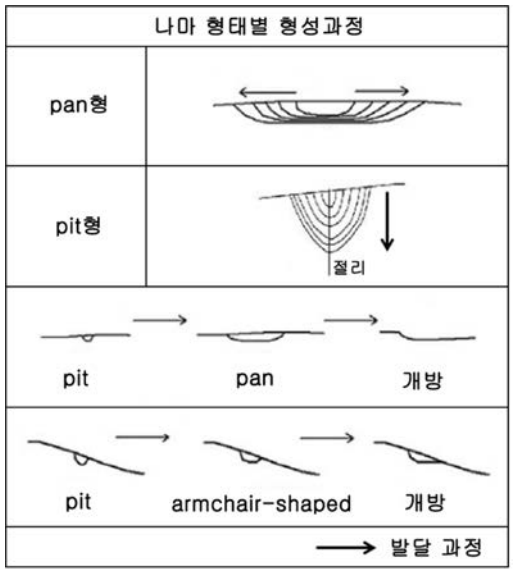

그림 10. 나마의 형태별 발달 과정(박지선·권동희, 2013)

어진다고 보았다. 그리고 pit형은 pan형과 같은 과정을 보이나 수분과 염이 정착하는 부분이 벽면 및 바닥이고 수평적인 확대보다는 수직적인 확대가 더 잘 이루어진다고 보았다. 마지막으로 armchair-shaped 형은 경사가 있는 기반암에 석영이 제거된 구멍이 형성되고, 그 기반암의 경사방향으로 나마가 점차 성장하여 결과적으로 경사가 낮은 쪽 벽면이 개방되면 개방형으로 변화한다고 제시하였다(그림 10).

형태

풍화혈의 형태는 형성된 위치와 그 모양으로 결정되는 경우가 대부분이다. 타포니의 경우 위치에 의한 분류를 보면 암체의 측면에 위치하고 있는 벽면 타포니와 암체의 하부에 위치한 저면 타포니로 구분할 수가 있다. 국내에서 이루어진 타포니의 형태 분류는 김주환·장재훈(1978)에 의해서 최초로 이루어졌으며 그들은 타포니의 형태에 따라서

선반형, 동굴형, 측입형, 절리유관형, 우산형, 저변삭거형, 관통형, 양각형, 봉방결합형 등으로 분류하였다. 그리고 김혜자(1982)가 형태를 기준으로 하여 발달단계적인 측면에서 joint 유관형(joint-relating pattern), 독립형(isolated pattern), 결합형(combination pattern), 분리형(separation pattern), 복합형(complex pattern), 소와형(cell-like hole pattern) 등으로 분류하였으며 이러한 분류기준과 상관없이 암석의 돌출부나 기반암과 분리된 암석의 천정에 발달하는 타포니를 따로 천정형(base-eliminationpattern)으로 분류하였다. 그 후 박지선·권동희(2013)는 김주환·장재훈, 김혜자의 유형과 홍콩의 Hsi-Lin Tschang

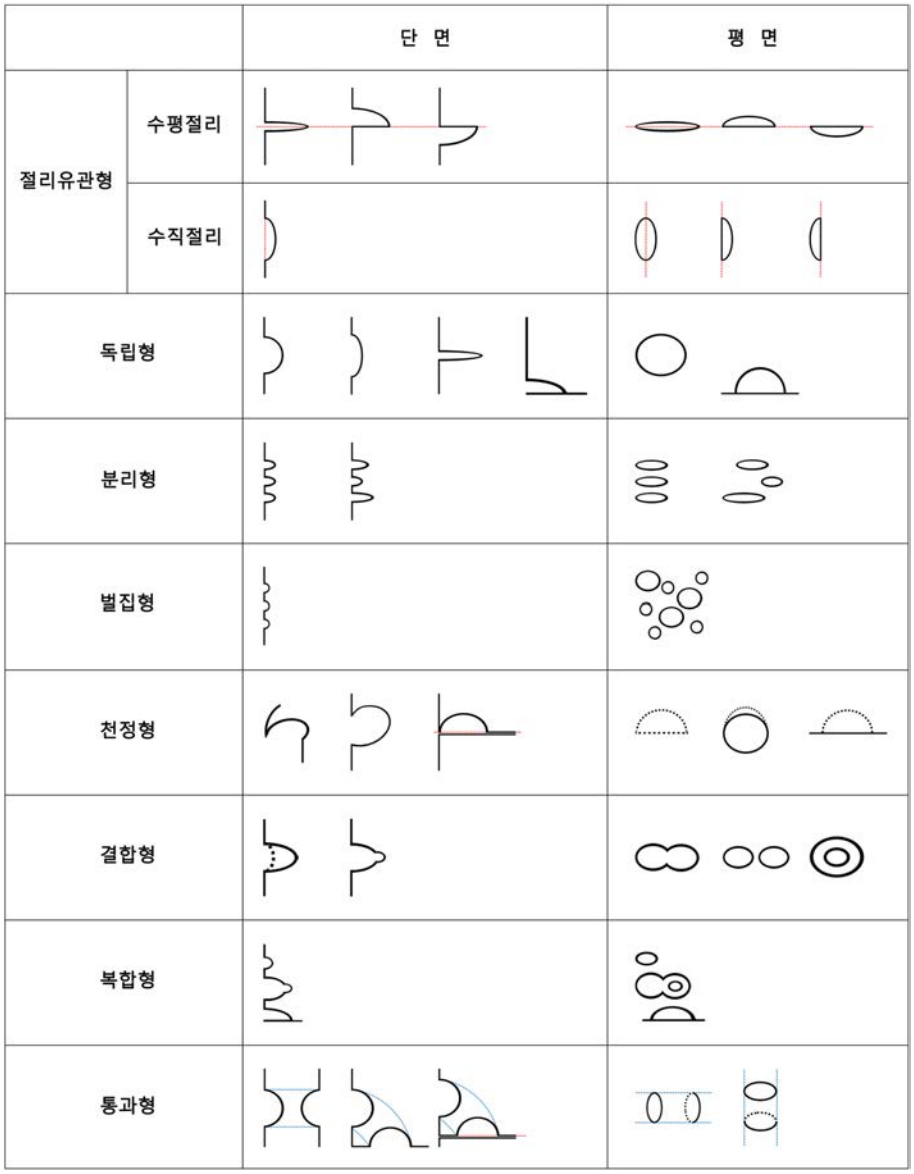

그림 11. 타포니 유형3(박지선·권동희, 2013)

(1974)의 유형을 기초로 하여 절리유관형(joint-relating type), 독립형(isolated type), 분리형(separation type), 벌집형(honeycomb type), 천정형(ceiling type), 결합형(combination type), 복합형(complex type), 통과형(관통형, piercing type) 등 총 8가지의 타포니의 유형을 분류했다(그림 11).

나마는 Twidale(1982)이 분류한 기준(pit형, pan형, cylindrical hollow, armchair-shaped hollow)이 대부분의 연구자들에게 인용되고 있다. 국내에서는 김주환·권동희(1990)가 Twidale의 분류방법을 이용하여 접시형(dish

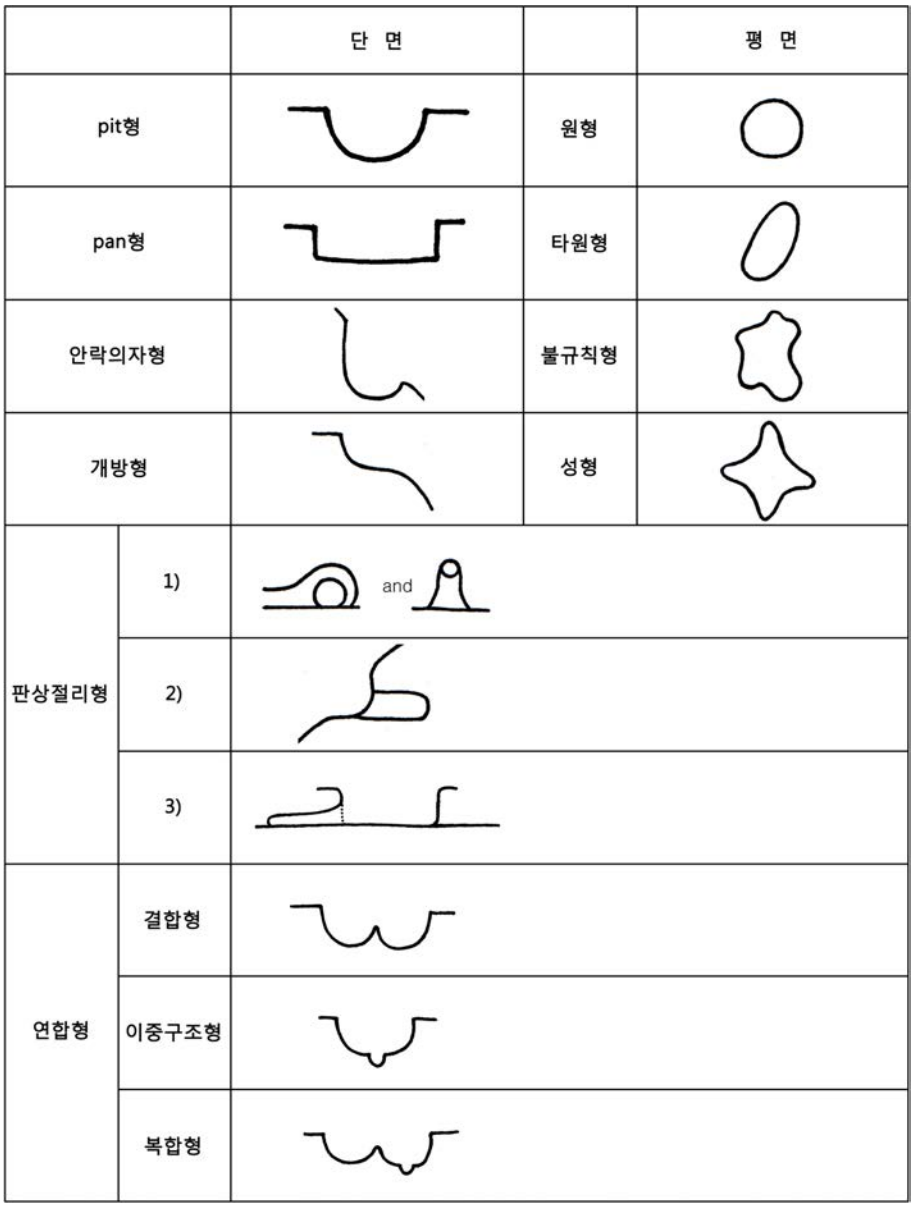

그림 12. 나마의 유형3(박지선·권동희, 2013)

형, plate형), 반구형, 안락의자형과 같은 새로운 분류기준을 제시하였으며, 박효정(2008) 및 황상일·박효정·박경근·윤순옥(2011)은 새로운 분류유형을 추가해서 pit형, pan형, armchair-shated hollow, 이중형, 개방형을 제시하였으며, 박지선·권동희(2011)는 단면형태를 기준으로 독립형(pit형, pan형, 안락의자형, 개방형, 판상절리형)과 연합형(결합형, 이중구조형, 복합형)으로 구분하고 평면형태를 기준으로 원형, 타원형, 불규칙형, 성형으로 분류하였다(그림 12).

특히 나마는 내부에 고인 물의 범람, 경사, 방향에 따라 그 형태나 발달과정이 달라질 수 있으며 발달 위치에 따라 계단상 또는 그루브로 연결되어 배수되기도 하고 다른 나마와 결합되기도 한다.

이용과 보존

우리나라에 분포하는 다양한 지질 중 화강암이 차지하는 비중은 30%에 달한다. 게다가 풍화혈은 화강암에 발달하는 특징적인 미지형 중 하나로서 암석을 침식, 풍화시키면서 그 형태를 변형시켜 특징적인 형태의 지형을 형성하게 된다. 따라서 타포니, 나마와 같은 풍화혈은 미지형이지만, 대지형을 변화시키는 작용으로서 풍화혈의 성인과 발달과정, 구성암석 및 절리와의 관계 등에 대한 교육 및 학술적 연구가치가 매우 크다.

그리고 풍화혈이 어느 특정한 지역에 국한되어 형성되는 것이 아닌 산지와 해안에 골고루 발달되어 있는 만큼 탐방객들의 접근이 쉬운 편이어서 인근의 중·고등학생 또는 대학생들의 야외 답사 및 연구 활동 장소로도 적합하다.

최근, 자연환경이 지니는 가치에 대한 높은 관심은 지오투어리즘(Geotourism)이나 생태관광 같은 여가활동으로 나타났다. 관광지에서 단순히 보고 즐기는 것이 아닌 '웰빙'이라는 사람들의 요구에 따라 자연환경 자체를 보고 느끼는 활동을 선호하게 된 것이다. 따라서 이러한 활동에 따라 일반인들의 자연환경에 대한 관심이 증대되고 인식이 크게 달라졌으며, 이와 동시에 전국 곳곳의 빼어난 경관자원들이 일반인들에게 널리 알려지게 되었다.

하지만 이러한 관심의 증대에도 불구하고, 우리나라의 경우 일반인을 대상으로 한 자연환경에 관한 현장교육이 아직 부족하다. 국립공원을 중심으로 한 탐방로를 중심으로 자연해설 프로그램이 확대되고 있지만, 국립공원이 아닌 지역을 찾은 방문객을 위한 자연해설과 정보 제공은 미미하다.

최근 개인 블로그나 인터넷 카페, 심지어 TV 프로그램을 통해 우리나라에 분포하는 작은 동굴 같은 혹은 우물 같은 지형이 소개되는 경우가 종종 있다. 하지만 그 동굴 같은 지형이 타포니이고 우물 같은 지형이 나마라는 것을 아는 사람은 거의 없다. 이러한 지형들이 어떻게 만들어진 것이라는 설명과 함께 형성과정, 그 지역에서 부르는 명칭의 유래 등 간략한 지리적·문화적 소개가 있다면 방문객들에게 이러한 풍화혈(타포니, 나마)이라는 독특한 지형들이 더 깊이 기억되고 관심거리가 될 것이다. 따라서 이러한 관심이 일회성으로 그치지 않기 위해서 지역단위의 행정지원과 노력이 필요하다. 탐방로와 안내 표지판의 설치가 우선 이루어져야 하고 이어서 자연해설프로그램을 개발, 그리고 이를 이용한 생태환경교육과 현장교육이 이루어져야 한다. 이러한 노력들이 뒷받침 될 때 방문객들은 그 지역의 다양한 자연경관에 대한 관심이 더 커지게 될 것이고 그 이후에는 특정 지역을 넘어 국내 다른 지역에 대한 관심이 형성되어 국내 관광 활성화에도 도움이 될 것이다.

참고문헌

권동희, 김주환, 1990. 아암도의 Gnamma에 관한 연구, 지리학, 42: 1-11.

권동희, 2006. 한국의 지형, 한울아카데미.

김주환, 장재훈, 1978. 한국 화강암에 발달된 Salt Weathering 현상에 관한 기후지형학적 연구, 지리학연구, 4: 29-53.

김혜자, 1982. 서울부근의 타포니현상에 관한 연구, 상명대학교 석사학위논문.

대한지질학회, 1999. 한국의 지질, 시그마프레스.

박지선, 권동희, 2011. 쉰움산의 나마(Gnamma)에 관한 연구 -유형분류를 중심으로-, 한국사진지리학회지, 21(3): 87-99.

박지선, 2013. 속리산에 발달한 화강암 풍화미지형의 경관자원적 가치 -풍화혈(타포니, 나마)을 중심으로-, 한국자연보존연구지, 11(3-4): 119-137.

박지선, 권동희, 2013. 한국의 풍화혈 연구 성과와 과제 -타포니·나마를 중심으로-, 한국지형학회지, 20(4): 37-50.

박효정, 2008. 남해군 상주리 금산 정상부의 나마(Gnamma) 지형, 경북대학교 교육대학원 석 사학위논문.

성효현, 1982. 마이산 일대에 나타나는 미지형의 기후지형학적 연구, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문.

이승수, 2004. 마이산 타포니의 형성 및 발달에 관한 연구, 전북대학교 대학원 석사학위논문.

한국지리정보연구회, 2006. 자연지리학사전, 한울아카데미.

황상일, 박효정, 박경근, 윤순옥, 2011. 남해군 금산 정상부의 나마(Gnamma) 지형 발달, 대한지리학회지, 46(2): 134-151.

池田 碩, 1990. 화강암지형의 세계, 권동희 옮김, 한울 아카데미.

Hsi-Lin and Tschag, 1974. Geomorphological observations on the tafoni forms of Hong Kong, The Chung Chi Journals, 13: 32-51.

Twidale, C. R., 1982. Granite Landforms, Elserfier Scientific Pub. Co.