

## 무등산 너덜지대의 온혈 현상

박철웅\*

### A Study on the Characteristics of Warm Wind Hole Zone of Talus Slope in Mt. Mudeung National Park

Chul Woong Park\*

**요약 :** 무등산 누에봉의 암괴사면에서는 인위적인 열 공급이 없이 겨울에 따뜻한 공기와 수증기를 내뿜는 온혈 현상이 나타난다. 이런 현상이 나타나는 풍혈은 약 40여 개 정도가 밀집되어 풍혈대를 이루고 있다. 겨울철에 풍혈의 입구에서 나오는 따뜻한 바람이 온혈 현상이다. 외부의 기후와 관련하여 겨울철 풍혈의 온혈 효과는 잘 설명되지 않는 부분이 있다. 이 연구는 2014~2016년의 2년간 수집된 데이터를 통해 풍혈의 외부와 내부의 온도와 습도의 연 변화를 모아 분석하였다. 분석 결과, 첫째 풍혈 내부의 2년간 연평균 기온과 습도는 12.1°C/96.1%였고, 풍혈 외부는 7.59°C/84.5%였다. 둘째, 그 기간 동안 최대의 기온편차는 여름철에 23.25°C이고, 겨울철에는 43°C의 차이를 보였다. 이는 무등산에서 겨울철의 온혈이 여름철의 냉혈보다 두드러지게 나타난다는 것을 보여주는 것이다. 이 현상은 풍혈의 내부와 외부 간의 열적 기작의 효과에 의해서 일어난다는 것으로 추정된다. 즉, 잠열이 현열로 변환한 것이다. 이와 같이 무등산 풍혈대는 주상절리대, 암괴사면의 너덜이 한 세트의 형성된 연속체로서 자연적인 온혈 현상을 만들어 내는 지형 경관이다.

주요어 : 암괴사면, 온혈 현상, 풍혈, 기온 연변화, 잠열, 현열

**Abstract :** In winter season, at the inclined talus slope of the north side of Mt. Mudeung, there are holes (Warm Wind Holes; WWH) with no artificial heating, which are warmer than the surrounding area. These holes are usually referred as the wind hole (Poong-hyul in Korean). More precisely speaking, it is referred so when warm air comes out of the entrance of wind holes during the winter season. The effect of winter warming in wind holes in relation to the outside climate has not been well explained. This study, conducted from January 2014 to February 2016, observed and analyzed the annual variations of temperature/humidity of wind hole inside and outside. Based on the result of this analysis, I found several characteristics as follows. First, the annual average temperature/humidity of the WH10 (In) showed 12.01°C/96.12% during two years, while WH19 (Out) showed 7.59°C/84.5%. Second, the difference in maximum temperature during the period was 23.25°C in summer season, but it was 43°C in winter season. This reveals that WWH event has an outstanding phenomenon than cold wind hole event in Mt. Mudeung. This phenomenon is assumed to be caused by the effect of thermal mechanism between inside and outside of wind holes. In other words, it is changed from latent heat to changed sensible heat. In this way, Wind holes zone of Mt. Mudeung is a continuum which is formed by a set of column joint, talus slope, is an infrequent topographical landscape that creates a natural warm hole phenomenon.

Key Words : Talus, Warm wind hole, Air hole, Variation of temperature, Latent heat, Sensible heat

\*전남대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Chonnam National University, parkcw@jnu.ac.kr)

## I. 서론

천연기념물 224호인 밀양의 얼음골이나 진안의 풍혈 처럼 너털로 불리는 암괴사면에 나타나는 자연적 풍혈 현상은 우리나라뿐만 아니라 일본, 미국, 중국에서도 상당수가 알려지고 있다(Tanaka, 1997; Delaloye, 2003; 김영일 등, 2006; Morad *et al.*, 2008). 원래 풍혈(風穴)이란 매우 오랜 된 말이다. 산지의 암괴사면이 많은 우리나라 역시 풍혈이 많이 보고되고 있다. 역사기록으로 보면 조선왕조실록에 의성의 빙계 풍혈을 비롯해 5건이 기록되어 있다. 일제 강점기 동아일보 기사(1926년 10월 17일자)에는 경북 의성의 빙계동 풍혈을 자세히 소개하고 있다.

풍혈은 'wind hole'(Tanaka *et al.*, 2000; Shimizu, 2004) 또는 'wind cave', 'ice hole(빙혈)', 'algific' site'(김정연·박경, 2016), '얼음골 혹은 빙계(ice valley)' 등 다양한 용어들로 표현되고 있다. 국내에서 풍혈을 여름철에는 찬 공기가 나오거나 얼음이 얼고, 겨울이면 따뜻한 바람이 불어 나오는, 바람구멍이나 바위틈에 나타나는 독특한 미기상학적 국지적 현상(공우석 등, 2011)으로 보거나, 산림청에서는 풍혈(air-hole)을 산림 내 분포하는 애추, 암괴원, 암괴류 사면의 바위틈에서 여름철에 찬 공기가 나오고 겨울이면 따뜻한 바람이 불어 나오는 구멍이나 바위틈, 국소적으로 특이 기후환경을 형성하는 지역(바람구멍 또는 바람굴)으로 정의하고 있다. 또한 국립생물자원관에선 풍혈지를 여름철에 너털지대(轉石地) 사면의 암괴 틈에서 찬 공기가 스며 나오고 결빙현상을 보이는 등의 국소적 저온환경을 형성하는 지역으로 '얼음골' 또는 '하계동결현상지'라고도 정의하고 있다. 대부분 외부의 온도에 비해 상대적으로 저온을 나타내는 것을 풍혈 또는 냉풍혈로 보며, 상대적으로 고온의 경우를 온혈로 본다. 일본의 경우, 풍혈은 산 또는 화산지역의 사면에서 지중의 공극으로부터 자연의 냉풍이 불어나오고, 때로는 하계에 지하빙이 보이는 특이한 현상으로 알려져 있다(清水長正, 2004).

우리나라의 풍혈지역 분포에 대한 조사는 1926년 일제 강점기에 이루어져 전국 풍혈지역은 총 149개소로 알려졌다. 그 중 전남이 16개소로 상당 부분을 차지하고 있다. 최근 산림청은 기후변화와 생물자원의 다양성 지역으로 보호할 가치가 있는 지역으로 25개소를 지정하였다(국립수목원, 2013). 풍혈이 나타나는 지형은 대부분 애추, 암괴류(너털), 암괴원, 누석 등이다. 이 지형들은

주로 플라이스토세 빙하기에 동결과 융해가 활발한 주변 환경에서 발달한 대표적인 지형들이며 우리나라를 비롯한 온대지역의 화석지형에 해당한다. 이것은 우리나라가 산지국가이고 화산암 및 퇴적암, 화강암의 너털 지대가 산록부에 많이 나타나고 있다는 점과 관련이 크다. 지형학적으로 풍혈이 나타나는 암괴사면은 정지되거나 독립적 경관이 아니라 자연현상을 일으키는 자연체로 역동성을 가진 살아 있는 경관이라는 점에서 가치가 있다. 하지만 그 지형학적 국내 연구 결과는 아직 미흡한 편이다.

지금까지 여름철에 냉기를 뿜어내는 풍혈 현상은 이미 많이 알려져 있지만 따뜻한 공기와 수증기를 내뿜는 온혈 현상은 그리 알려져 있지 않다. 특히 앞의 조사나 산림청 지정에서도 무등산의 온혈은 확인되지 않았다. 하지만 무등산 풍혈대는 해발 고도 1,000m가 넘는 무등산 동쪽 누에봉 아래 암괴사면의 너털들의 공극 사이로 겨울철 따뜻한 공기와 하얀 수증기가 뿜어 나오는 온혈의 집합지로, 2013년 누에봉(북봉) 일원에서 처음 조사 확인되었다. 고막재에서 누에봉 풍혈 구간을 조사한 결과, 현재 전라남도(화순, 담양)권역에 31개소, 광주광역시(북구) 8개소 등 총 39개소의 풍혈 현상이 확인된 바 있다. 풍혈의 분포 면적은 대략 약 180,000m<sup>2</sup> 정도로 국내 최고 풍혈지대라고 할 수 있다. 우리나라 대부분의 풍혈은 150~500m 범위의 낮은 지역에 많이 분포하나 무등산국립공원의 풍혈 대부분이 해발 800~1,020m 범위의 높은 지역에 분포하며 온혈의 특징을 보이고 있다(김보현 등, 2016).

따라서 이 연구는 무등산 풍혈의 지형학적 측면뿐만 아니라 풍혈의 장기적인 기온데이터를 함께 분석하여 온혈 현상의 특성을 밝히고, 풍혈지대의 암괴사면과의 관계를 고찰하는데 목적을 둔다. 이를 통해 북반구 온대지역의 제4기 기후지형의 특성, 미시적 기온 현상과 생태 환경과의 관계 등을 보다 넓게 이해하고, 지형의 특이 현상이 갖는 역사성과 관광 자산과 지형 경관에 자원에 중점을 둔 지오투어리즘 자산 등(김장수 등, 2014; 김창환, 2016; 장동호 등, 2016)의 가치에 대한 기초 연구로서 기여하고자 한다.

이 연구방법은 2014~2015년 2년간 풍혈 내·외부의 기온 관측 자료를 온·습도 데이터로거(SL18021, HOBO Pro v2 Temp/RH(U23-001))에 의해 수집하여 분석하였다. 또한 수차례의 현지 조사와 답사를 기반으로 무등산

의 개관 및 누에봉의 위치와 암괴사면을 조사하고 지형도에 표시하였다. 해당 암석의 특성을 위해 1:50,000, 1:250,000의 지질도(광주도폭)를 참고하였다. 경사, 좌표, 향 및 너털의 분포를 파악하기 위해 1:25,000의 수치지질도와 식생분포도를 베이스 맵으로 하여 GIS분석을 하였다.

## II. 연구지역

### 1. 지질·지형 조건

무등산(1,187m)은 소백산지의 지리산에서 토말로 이어지는 북동-남서 방향의 산열에 속하며 영산강과 섬진강의 유역이 만나는 분수계이다. 산체는 대체로 완만하면서 부드러운 지세를 보이면서 흔히 광주에서는 어머니 치맛자락으로 비유된다. 무등산의 능선과 주변 하곡에는 남-북, 동서 방향의 선구조가 잘 반영되어 있고, 이 선구조를 따라 화강암의 침식분지대인 영산강 일대와 산지하천의 특징을 보이는 변성암 지대의 섬진강의 지류들이 하곡을 이루고 있다(그림 1). 지질은 화강암질 편마암체를 기저로 하여 백악기 말의 무등응회암이 화순안산암을 관입하고, 화강암과 백악기 반암류 그레노파이어(granophyre)에 의해 암주상으로 관입되어 있다(그림 2). 과거 지질도에는 석영안산암으로 알려졌으나 최근의 연구 결과에서는 용결 무등응회암으로 기록되었다(정우철 등, 2014). 이 무등응회암이 무등산의 주상절리대와 너털을 구성하는 기반암이다. 그 외 원효계곡의

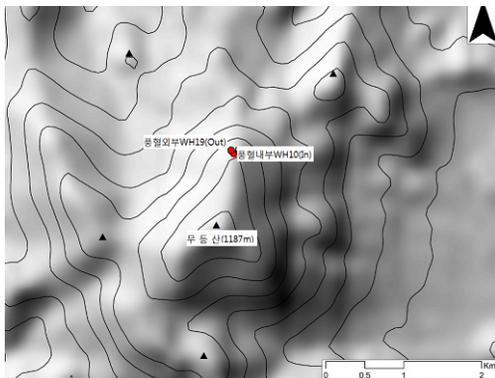


그림 1. 무등산 일대의 지형과 누에봉 풍혈 기온 측정 지점

\* ArcGIS를 활용하여 필자가 표시.

의상봉 일대는 화강암으로 노출되어 있고 하부는 중생대 화강암이 심층풍화되어 있으며 하천 주변은 제4기층으로 덮여 있다.

### 2 너털의 분포와 특성

무등산 사면의 대부분을 피복하고 있는 너털은 거력의 암괴들이 주상절리대의 블록들이 낙석되어 사면에 애추 혹은 암괴류로 퇴적되면서 암괴사면을 이루고 있다. 흔히 너털은 이 중 식생 없이 노출된 곳을 말하기도 한다. 하지만 식생에 의해서 가려진 곳도 거의 너털로 사면을 피복하고 있다고 보여 진다. 이러한 암괴사면은 정상부의 주상절리와 함께 무등산을 이루는 중요한 지형으로 현생의 지형이 아닌 과거의 주빙하 환경에서 이루어진 화석지형이다(장호 1983; 박철웅, 1994; 박승필, 1996). 무등산의 전체 암괴사면의 너털 분포에 대한 GIS 분석은 주로 식생 피복도(환경부), 위성지도 등을 이용하여 식생이 없는 분포지를 선정하고 면적 계산하였다. 약 너털의 개수가 131개소 정도이며 약 636,761m<sup>2</sup>(약 192,957평)의 너털이 확인되었다(그림 3). 주로 중봉에서 바람재 능선을 중심으로 남서사면에 뚜렷하게 선적 배열이 나타나고 북서 방향의 U자곡 형태를 보이는 원효계곡의 북동사면에서도 군집형태의 너털이 분포하지만 반대 사면에서는 거의 분포하지 않은 특성이 있다. 너털은 규모가 가장 큰 것은 덕산너털, 지공너털로 알려

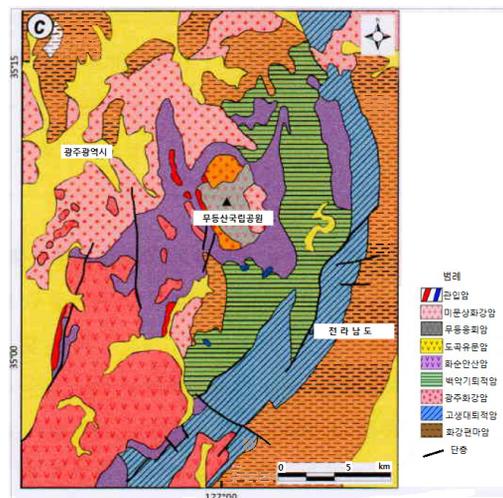


그림 2. 무등산 일대의 지질도

\* 전남대학교(2017)를 필자가 수정.



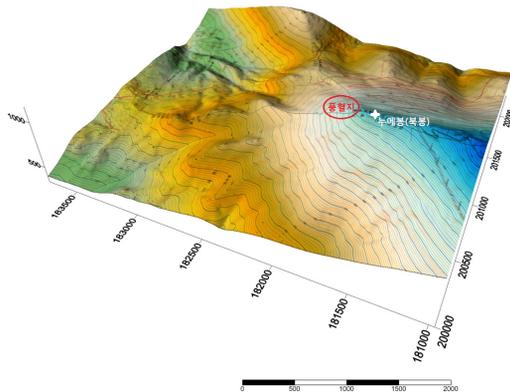


그림 5. 무등산 풍혈대의 위치

\* SURFER를 활용하여 필자가 표시.

하여 암괴의 공급이 많은 사면이 된다(Watson, 1970; 김현수, 2005). 너털은 결빙과 용해의 기계적 풍화에 의해 동파되어 대체로 각력 및 아각력을 이루고 많은 균열을 보이고 있다. 이는 주상절리대에서 파쇄된 이후에도 정적(in situ) 상태에서 2차적으로 동결파쇄가 계속된 것으로 볼 수 있다. 노출된 너털들의 표면은 검은 반점의 지의류(lichen)가 자라면서 주로 암회색을 띠고 있다. 주로 오목한 꼭지의 너털은 지표수의 집수가 되지 않아 식생 피복은 드물게 나타난다. 하지만 식생이 밀집한 너털 대부분은 토양과 함께 암괴들이 혼재되어 나타나고 있다.

### III. 무등산 풍혈의 특성과 분석

#### 1. 무등산 풍혈대의 지형 환경

현재 무등산의 풍혈대는 무등산 정상의 북쪽에 위치한 해발고도 약 1,054m의 누에봉(북봉) 사면 아래에 위치하고 집중되어 나타나고 있다. 호남정맥을 따라 무등산 고막재에서 누에봉으로 오르는 등산로에 위치하고 있다. 겨울에는 적설로 인한 위험성과 군부대와의 인접성으로 사람의 통행이 많지 않아 보전 상태가 매우 양호한 곳이다. 풍혈은 크게 동굴형과 너털과 같은 암괴형 2가지로 구분할 수 있다.<sup>2)</sup> 무등산의 풍혈은 암괴형에 속한다. 풍혈이 나타나는 동굴은 자연동굴로 주로 용암동굴이나 석회동굴에서 나타나지만, 폐광의 갱도에서도 이러한 풍혈현상(보령탄광)이 나타난다. 자연적이든 인

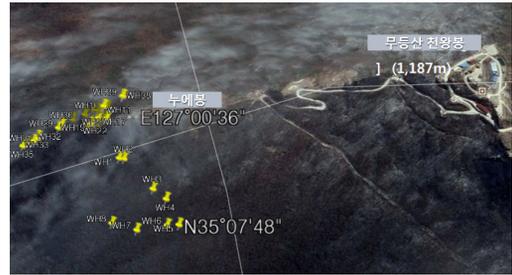


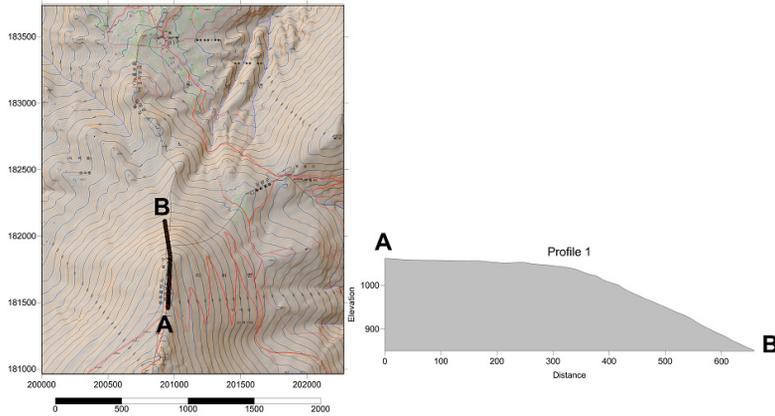
그림 6. 무등산 풍혈대의 풍혈 좌표점

\* 구글위성지도(2017년 2월)를 필자가 수정.

위적이든 동굴의 경우는 외부의 기온 변화에 영향을 받지 않고 일정한 온도를 유지하기 때문에 내·외부의 상대적 체감에 따라 시원하거나 따뜻함을 느낄 수 있다. 반면 산록에 있는 암괴사면 너털의 경우는 사면 전체가 일단 외부의 대기에 노출된 상태인데다 외부의 인위적인 열 공급이 없다. 순수하게 자연적인 내·외부의 공기 순환이 이루어지면서 암괴의 틈 내부에서 기온차가 발생하여 얼음, 냉풍, 온풍 및 수증기 등으로 가시화된다는 점에서 신비로움을 갖고 있다. 밀양의 얼음골은 여름에 특히 냉풍과 결빙현상이 두드러진 암괴형 풍혈의 대표적인 곳이다. 대부분의 풍혈은 냉혈 현상이 주를 이루고 있어서 풍혈을 시원한 바람이 나오는 것으로 인식하는 경향이 많다. 이러한 곳은 주로 마을 인접지역이거나 사람들의 통행이 잦은 곳이다.

무등산 풍혈대의 경우는 해발고도가 1,000m에 이르고, 경사가 가파른 북향의 암괴사면인데다 겨울의 적설이 많고 북서풍을 받는 곳이다. 목욕탕의 증기를 내뿜는 것 같은 온혈 현상을 보이는 풍혈임에도 사람의 접근이 용이하지 않은 곳이라 발견이 쉽지 않았지만 최근 등산객들에 의해서 알려지기 시작한 곳이다. 현재 이러한 풍혈 현상이 관찰되는 곳이 약 40여 개가 누에봉 아래의 암괴사면에 집중되어 규모나 개수로도 대규모이다(그림 5, 6).

현장 조사 결과 무등산의 풍혈대의 특징들이 몇 가지 밝혀졌다. 첫째, 각력이면서 거력질의 암괴사면의 너털 표층은 경사가 약 30°내외로 급하고, 무등산의 북사면으로 겨울의 북서풍을 정면으로 받고 있다(그림 7). 둘째, 암괴 상태로 노출보다는 관목들이 우거져 있으며 토층이 남아 있는 곳은 관목과 떼죽나무 등이 혼재되어 있다. 셋째, 암괴들의 공극부에서 온혈이 나타나는 곳은 적설이 녹아서 쉽게 확인할 수 있다(그림 8). 넷째, 그 개구부



**그림 7.** 풍혈대의 지형 및 경사 프로파일

\* SURFER를 활용하여 필자가 표시.



**그림 8.** 무등산 풍혈10의 수증기를 분출하는 온혈 현상

출처 : 2013년 12월 필자 촬영.



**그림 9.** 풍혈 입구의 응설과 이끼류

출처 : 2014년 1월 필자 촬영.



**그림 10.** 풍혈 내의 역고드름

출처 : 2014년 1월 필자 촬영.

에는 겨울이지만 적설이 녹아 습기에 젖어 있으며 개구부 주변의 암괴에는 녹색의 이끼류가 서식하고 있는 식생의 피한지이고 특이 분포지역임을 보여주고 있다(그림 9). 다섯째, 무등산의 풍혈대에서는 특이하게 일부 풍

혈에서는 개구부에서 공급되는 수증기가 달라붙어 결빙이 되면서 중력의 반대 방향으로 고드름이 형성되는 역고드름 현상도 나타난다(그림 10).

## 2 기온 관측과 데이터 분석

무등산 풍혈대의 기온 특성을 분석하기 위해 무등산 국립공원 동부사무소에서 관측 지점의 내부와 외부에 무인 측정기를 설치하여 얻어진 2년간의 시간대별 데이터(2014년 1월~2016년 2월)중 풍혈내부WH10(In)과 풍혈외부WH19(Out)의 기온과 습도의 데이터를 분석하였다. 표 1은 무인측정기의 설치 지점에 대한 좌표와 고도이다(위치는 그림 1 참조).

다만 풍혈외부WH19(In)의 데이터도 분석하였으나 온혈 현상이 발현되는 수준은 아닌 것으로 판단되어 상대적으로 온도차가 현저하게 드러난 풍혈내부WH10(In)과 풍혈외부WH19(Out)의 기온 데이터를 비교 분석하였다. 그 외 광주시 지질사무소의 기온 측정 데이터도 참고하였다. 특히 수증기를 내뿜는 온혈 현상이 나타나는 풍혈의 기온변화는 일, 월, 연변화를 통해 분석하였다. 현장 답사는 수차에 걸쳐 적설이 있거나 외기의 기온이 영하로 떨어진 날을 선정하여 12~2월에 실시하였고, 풍혈의 기온 및 풍속 등을 관측하고 사진을 촬영하였다. 현재 이 풍혈대는 호남정맥의 등산로에 인접해 있어 훼손을 우려해 인위적인 통제 구역으로 관리하고 있다.

### 1) 무등산 풍혈대의 기온 및 습도의 연변화

무등산 풍혈대의 기온 및 습도의 관측 데이터에 대한 정량적 분석을 하였다. 전체적으로 풍혈 내부의 기온 연변화를 보면 여름철에 높고 겨울철에 상대적으로 낮다

는 점에서 우리나라 기온의 계절적 변화와 그 차이가 없다. 풍혈내부WH10(In)의 연변화 기온 범위는 약 1°C~24°C이며 최대 기온편차는 23.25°C이다. 내부의 연평균 기온은 12.01°C이다. 특히 12월부터 2월말까지 12.2°C의 평균 기온을 보이고 있어 겨울철에 풍혈 내부와 외부의 기온차가 커지는 현상을 보인다(그림 11). 풍혈내부WH10(In)의 연평균 습도는 96.12%를 보여 주고, 겨울철에 외부보다 습도가 높게 나타난다. 반면 풍혈외부WH19(Out)의 기온 범위는 -17~25°C이고 43°C의 최대 편차를 보여주고 있다. 연평균 기온은 7.59°C로 내부보다 낮게 나타나고 있다. 풍혈외부WH19(Out)의 습도 연변화를 보면 연평균 습도는 84.5%로 내부보다 낮게 나타난다(그림 12). 이러한 결과로 겨울에 풍혈의 내·외부 기온차와 습도차가 커서 겨울의 온혈 현상이 두드러진다.

풍혈내부WH10(In)의 기온 연변화는 풍혈외부WH19(Out)에 비해 작게 나타난다. 풍혈 내부의 기온이 연중 0°C 이하로 떨어지는 경우가 거의 없고 영상의 기온을 유지하여 변화가 작다. 반면 풍혈 외부의 기온은 겨울에는 최대 -17°C 이하로도 떨어져 43°C의 기온차를 보인다. 여름철의 최대 온도를 보면 풍혈 내부는 24.10°C이고 외부는 25.79°C로 기온차가 크지 않다(표 2). 풍혈 내부와 외부의 기온차를 가장 크게 보인 날은 2014년 2월 4일 오전 12시에서 오후 11시까지이다. 여름철 가장 큰 편차를 보인 날은 2014년 8월 12일로 겨울보다 훨씬 작다. 따라서 무등산 풍혈은 겨울철의 온혈 현상이 여름철의 냉혈 현상보다 두드러지게 관찰되는 곳임을 알 수 있

표 1. 풍혈 기온 관측 지점과 고도

설치지점	좌표	고도	logger No.
풍혈내부WH10 (In)	35° 07' 56.90"N, 127° 00' 38.73"E	1,035 m	65
풍혈외부WH19 (Out)	35° 07' 58.17"N, 127° 00' 37.38"E	1,029 m	66

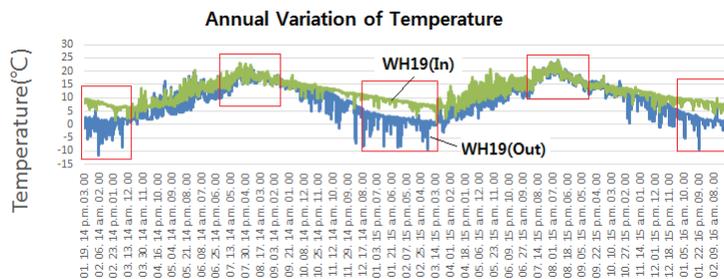


그림 11. WH10 (In), WH19 (Out)의 기온 연변화

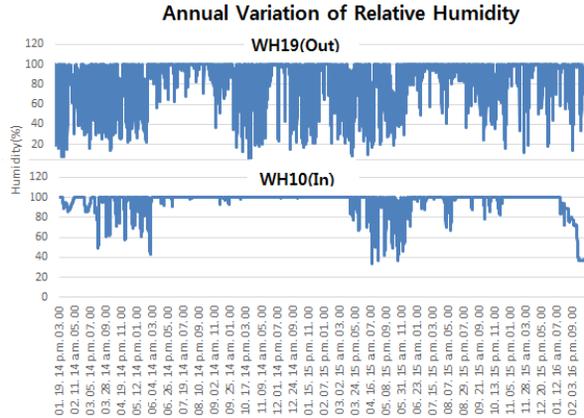


그림 12. WH10 (In), WH19 (Out)의 습도 연변화

표 2. 관측 기간 동안 기온과 습도의 평균값·최고·최저값

Temp. (°C)	WH10 (In)	WH19 (Out)	Rate of Humidity	WH10 (In)	WH19 (Out)
Ave.	12.02	7.59	Ave.	96.12	84.52
Mean	11.76	9.31	Mean	100.00	96.86
Mode	6.86	14.31	Mode	100.00	100.00
SD.	4.12	9.40	SD.	11.45	21.96
Range	23.25	43.00	Range	90.95	96.74
Min	0.85	-17.21	Min	9.05	3.26
Max	24.10	25.79	Max	100.00	100.00

\* 2014년 1월~2016년 1월.

다. 겨울과 여름에 비해 3월, 10월, 11월 그리고 봄·가을에는 풍혈 내·외부의 기온이 서로 동조하면서 미약한 온혈 현상을 보인다.

이상의 분석을 통해서 무등산 풍혈의 내·외부 기온의 변화에 대한 특징을 정리하면 다음과 같다. 풍혈 내부는 여름철에 외부보다 일정하게 낮은 기온을 유지한다. 그러다 9월 말쯤 초가을에 접어들면 풍혈의 내부 기온은 외부 기온의 하강에 동조하면서 기온이 떨어진다. 12월부터 본격적인 겨울철로 접어들면서 풍혈의 내부 기온은 외부보다 상승하여 기온이 역전되는 경향을 보인다. 이후 한 겨울로 가면서 풍혈의 내부 기온은 외부보다 높게 형성되고 큰 편차를 보이면서 온혈 현상이 발현된다. 그러다 다시 4월경에는 풍혈의 외부 기온이 점차 상승하면 풍혈의 내부 기온과의 편차가 작아진다. 여름철에는 외부 기온과 동조되면서 기온이 상승하여 편차가 줄어들다. 특히 적설이 있고, 외부의 기온이 -10°C 이하로 떨어진 경우에는 풍혈 개구부에서 상당한 수증

기를 내뿜는 현상을 목격할 수 있다. 이러한 온혈 현상은 무등산 누에봉 풍혈대의 아래쪽보다는 고도 1,000m에 가까운 풍혈에서 외기의 기온차가 내려갈수록 두드러지는 것을 현장 답사에서 목격할 수 있다.

## 2) 온혈 현상의 특성

무등산 풍혈의 기온과 습도의 변화 과정을 살펴 본 결과, 무등산의 풍혈대는 흔히 밀양의 얼음골과 일본 나가노현의 후케츠야마(風穴山)의 하계 냉풍이나 결빙(Byun *et al.*, 2011; 片桐一樹·明石浩司, 2012)과 같은 냉혈 현상보다는 겨울철의 국지적인 온혈 현상이 더 현저하다는 점을 특징으로 들 수 있다(그림 13 참조).

고도 1,000m에 자리한 풍혈 내부의 공기층도 자연동굴이나 인공 폐광굴처럼 일정한 기온을 유지하여 상대적으로 여름에 시원하고 겨울에 따뜻한 기온을 보인다. 하지만 여름과 달리 겨울에 풍혈 내·외부의 기온 격차가 크게 벌어지면서 따뜻한 공기와 수증기를 내뿜는 온

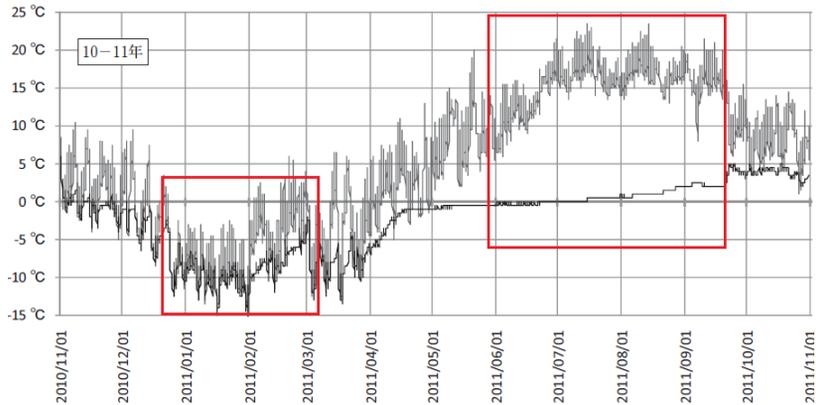


그림 13. 일본 나가노현의 후케츠야마의 기온 연변화율

출처 : 片桐一樹·明石浩司, 2012.

혈 현상이 무등산 풍혈의 가장 큰 특징이다. 이 온혈 현상은 다른 국내의 alfigic talus slope에서는 흔히 볼 수 없는 현상이다. 현장 답사를 통한 관찰에서도 외부의 기온은  $-10^{\circ}\text{C}$  이하인 경우에 온혈 현상이 더욱 뚜렷하다. 따뜻한 바람만 개구부에서 나오는 것이 아니라 가까이 가면 안경에 김이 서릴 정도이다. 마치 멀리서 보면 목욕탕의 김이 빠져 나오는 것 같은 느낌을 받는다. 이것은 외부와의 기온차가 클수록 습기를 머금은 따뜻한 공기가 차가운 외부로 나오면서 빠르게 수증기로 변하는 것이다. 이는 잠열이 현열로 바뀌는 기상 변화이다. 이런 과정은 암괴사면에 쌓인 적설과 낙엽이 풍혈 내부를 감싸는 일종의 단열재 역할을 하면서 내부의 공기층의 수분과 기온을 보온시켜 외부와의 기온 편차를 크게 하는 것으로 보인다. 온혈 현상이 나타나는 풍혈의 개구부 주위에는 대부분 눈이 녹아 있고, 푸른 이끼류들로 피복되어 있어서 온혈 현상이 있는 곳과 없는 곳을 쉽게 구분 짓게 한다(그림 10 참조). 또 풍혈의 개구부에 쌓인 낙엽이 일부 썩는 과정에서 축열 되는 곳도 나타났다. 또한 온혈 현상이 계속해서 따뜻한 공기와 수증기를 일정하게 계속 내뿜는 것이 아니라 숨을 쉬듯 간헐적 간격을 갖고 강약을 보이는 것은 외부의 풍속과 풍향에 영향을 받는 것으로 보인다.

이러한 무등산 풍혈의 특성은 출구가 제한적이고 외부와의 공기 순환이 차단된 동굴형의 기온 변화의 특성과 다르다. 즉, 외기에 개방된 상태에서 공기의 순환이 자연적으로 이루어지면서도 냉·난방과 같은 열에너지의 교환이 이루어진다는 점에서 주목되는 현상이다. 특

히, 지형학적으로는 고도 1,000m의 고산에서 거력의 돌무더기가 사면 아래 퇴적되어 이루어진 암괴사면의 너덜에서 이루어진다는 점이 주목된다.

이런 현상이 발현되는 기작에 대해서는 어느 정도 연구가 진척되어 있다. 하지만 하계 결빙현상이나 냉풍현상에 초점을 둔 기상학의 연구와 식생의 피한지나 피서지의 서식 환경과 자생 식물에 대한 식물학의 연구가 주로 이루어졌다. 지형학 분야에서는 전영권(2001), 공우석 등 (2011; 2012), 김정연·박경(2016) 연구 정도로 지형, 생물지리학, 지오사이트와 관련한 것이다.

우리나라에서 최초의 풍혈에 대한 기작의 설명은 신문기사의 내용에서 볼 수 있다. 동아일보(1926년 10월 17일자)의 기사에서 경북 의성군 빙계 풍혈의 원인에 대해서 당시 미국의 고고학자의 말을 인용하여 빙계동이란 마을은 예전에 큰 소(沼)였다가 지진으로 말미암아 부근의 산이 무너져서 메어지고 차차로 구멍이 생겨 빙혈과 풍혈이 되어 지열로 말미암아 그렇다는 내용과 풍혈 부근에 오래 된 썩은 고목이 난다는 점을 싣고 있다. 실제 의성의 빙혈은 '독김치'를 저장하거나 일제 강점기에는 누에의 잠종저장소로 활용했다는 관보 기록(1910년 11월 25일자)도 있고 일본 측에서는 풍혈을 잠종저장소로 18세기부터 이용했다는 연구 결과(清水長正, 2004)가 있다.

대체로 우리나라에서 나타나는 풍혈 현상은 지역적 국지적 미세한 차이와 기후, 식생, 토양, 고도 등 과 같은 많은 변인들이 함께 작용한다고 볼 수 있다. 따라서 국지적 개별성에 따라 다양한 풍혈 현상이 존재할 수 있다.

표 3. 암괴사면에서 나타나는 풍혈 현상에 대한 기작 가설들

가설	원리	현상
기화열설	피복된 애추를 단열층으로 내·외부의 상대습도 차에 의한 증발이 내부에서 발생하고 그 기화열에 의해 얼음이 결빙된다는 설	얼음골 결빙현상
단열팽창설	여름에 애추 내부로 역류한 기류가 단열냉각되어 골 아래쪽으로 이동하면서 고온의 외부 대기가 방출될 때 빙점에 도달하여 결빙되고 반면 애추 내부의 수증기가 차가운 공기의 유입으로 열게 되면 열이 방출되면서 따뜻한 공기가 위로 상승하여 온혈이 된다는 설	얼음골 암괴 사면의 하부와 상부의 여름의 냉혈과 겨울의 온혈 현상
대류결빙설	겨울에 애추 사면 내부로 유입된 차가운 공기로 인해 내·외부의 공기가 여름에 대기 안정을 이루어 여름까지 얼음을 유지된다는 설	냉풍 현상
자연대류설	겨울에는 애추 내부는 여름철의 가열로 상온을 유지하고 공기부력에 의해 하부로 유입된 찬 공기는 돌에게 열을 빼앗기면서 데워져 위로 상승하여 온혈을 반대로 여름에는 애추 내부가 차갑고 밀도가 높아 사면 하부쪽으로 빠져 나가면서 냉풍이 되고 상부쪽으로 따뜻한 공기가 유입되면서 차가워지면서 하강한다는 대류설	냉혈 및 온혈
축열 효과 (Regenerator effect)	온도변화에 취약한 화산암이 다공성 축열조를 이루면서 겨울에 냉기를 저장, 여름에는 온기를 저장해 여름과 겨울에 냉혈과 온혈을 만든다는 설	냉혈 및 온혈
애추의 단열효과	애추를 이루는 안산암의 열전도율이 공극을 채우는 공기의 전도율과 달라 단열이 되면서 겨울의 냉각을 여름까지 유지한다는 설	얼음골 냉혈
지형의 특수성	사면의 방향과 경사가 일조량을 최소화시켜 기온과 지표 온도가 낮아 냉기를 오랫동안 보관한다는 지형적 조건설	얼음골

\* 국립수목원(2013)의 가설들을 필자가 수정.

특히 암괴사면의 너털에 집중되는 것에 대한 지형학적 접근과 이를 기재로 하여 나타나는 풍혈 현상, 더욱이 온혈 현상에 대한 공기 역학 및 기상학적 접근이 함께 이루어지는 다학문적 접근이 요구된다. 지금까지 온혈 현상에 대한 연구의 결과를 종합하면 위의 표 3과 같다. 주로 너털 내부의 무수한 공극 속에서 단열팽창, 자연대류와 같은 원리에 의해 외부 공기와의 상대적 차이를 발생시키는 것으로 보는 관점이 많다.

현재까지 무등산의 온혈 현상은 풍혈 내·외부의 기온 관측과 분석, 사면의 현장 답사 등을 통해 그리고 기존의 기작에 대한 가설 들을 종합해볼 때 온혈 현상의 기작을 추정해 볼 수 있다. 무등산 누에봉 너털에서 효율적인 열교환이 생기기 위해선 외부 온도와 일치하지 않은 내부 온도의 조건이 있고, 상대 습도가 평균적으로 100에 가까울 정도로 포화되어 있다는 점에서 온혈 현상의 조건을 갖추고 있다. 특히 기온의 차가 심한 고지대에 위치하며, 겨울에 북서풍의 찬바람을 그대로 사면의 방향과 적설과 낙엽에 의한 보온 효과를 갖추고 있다. 이런 조건에서 너털의 공극 속으로 유입된 냉기는 너털 내의 수체를 빙체로 만들면서 잠열을 방출하게 되면 따뜻한 공기가 대류로 인해 상승으로 이동할 수 있다. 그

공기에 내포된 수증기와 함께 외부의 차가운 공기와 접촉하면서 순간 포화되어 수증기를 내뿜게 되는 것을 추정해 볼 수 있다. 단지 수체의 역할은 적설이 된 눈이 녹은 물이 있거나 습윤한 사면의 토양층이 대신 할 수 있다는 점에서 가능성을 갖고 있는 것이다.

풍혈이 나타나는 누에봉 암괴사면 내의 구조는 확실하게 시추되거나 측정된 적은 없다. 다만 도로가 개설되면서 암괴 사면이 드러난 무등산 산복 도로의 너털의 단면을 보면 암괴류가 3~4m 정도가 풍화된 화강암류 기반암 위에 피복된 상태이다. 누에봉의 사면 경사는 20~30°로 급하면서 너털의 암괴 규모는 덕산 너털에 비해 작은 규모이다. 사면의 형태는 볼록하고 사면 정부나 상부에서 계곡의 곡두부가 발견되지 않은 점으로 보아 암괴사면이 계곡을 매적한 것으로 보이지 않는다. 급경사의 기반암 사면에 결빙작용으로 파쇄된 암괴들이 사면 아래로 낙석 되고 이동하면서 현재의 암괴사면의 너털을 이룬 것으로 보인다. 따라서 풍혈 내에 물이 흐르진 않지만 다만 심층풍화층 위에 퇴적된 암괴들인 경우 심층풍화층의 보습력이나 함수 효과에 의한 지하수의 함양은 있을 수 있다. 무등산의 산정부와 예하 봉우리의 군부대에서는 이 풍화층에서 지하수를 취수하기 때문이다. 또

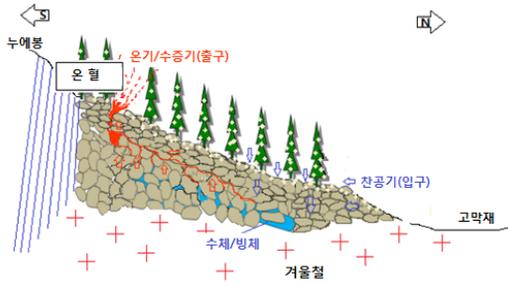


그림 14. 무등산 온혈 현상의 기작 개념도

한 암괴사면이 북쪽을 향하고 있어 일사량이 적고 적설이나 북서풍을 그대로 받는 풍상측에 속해서 암괴의 공극 내로 겨울의 찬 공기의 유입이 용이하다. 따라서 하부의 냉기가 대류하여 내부의 수분이나 수체를 결빙시키게 되면 잠열인 기화열을 방출하게 된다. 이로써 따뜻해진 공기가 사면 상부 쪽으로 상승하여 사면 상부의 개구부에서 따뜻한 공기와 함께 포화된 수증기를 외부로 내보낼 수가 있다. 그림 14는 이를 모식화한 온혈 현상의 기작 개념도이다.

#### IV. 결론 및 토의

무등산 풍혈대의 온혈 현상이 알려진 것은 최근의 일이다. 해발 고도 1,000m가 넘는 고산 지대의 암괴사면에서 이런 자연 현상을 볼 수 있는 예는 국내에서는 흔하지 않는 사례이고 그 현상 자체가 진기하다는 점에서 매우 가치가 크다. 이러한 현상이 관찰되는 곳이 현재 약 40여 개 지점에 이르고 있다는 점에서 규모나 수적으로도 매우 주목되는 곳이다. 위의 결과를 종합하면 다음과 같다.

첫째, 무등산 풍혈내부WH10(In)과 풍혈외부WH19(Out)의 기온 및 습도의 일, 계절, 연변화에서 특징적인 온혈 현상의 특성이 여름의 냉혈 현상보다 강화되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 여름에 외부보다 일정하게 낮은 기온을 유지하다 9월 말쯤 초가을에 접어들면 풍혈의 내부 기온은 외부 기온의 하강과 동조하면서 풍혈 내부의 기온이 떨어진다. 12월 본격적인 겨울철로 접어들면 내부의 기온은 외부 보다 상승하여 기온이 역전되는 경향을 보인다. 이후 한 겨울로 가면서 풍혈 내부의 기온은 외부의 기온보다 높게 형성되고 큰 기온편차를 보이며 온혈 현상이 발현된다. 풍혈 내·외부 습도의 연변화에서

도 풍혈10의 내부 습도가 96% 이상으로 아주 높은 포화 수증기압을 갖고 있다. 상대적으로 건조한 외부에 대해 수증기를 내뿜을 수 있는 기온과 습도 조건을 갖게 된다.

둘째, 암괴사면의 지형적 특성은 이러한 풍혈 내·외부의 기온과 습도의 연변화 과정을 가져온다. 이러한 내·외부와 온도의 차는 에너지의 교환을 일으키는 현상으로 바뀌면서 하나의 시스템으로 작동한다. 위치와 방향, 경사, 일조량, 암괴의 열전도 등의 지형과 지질 환경이 개입되어 상호작용하는 것이다. 즉, 무등산 풍혈대는 겨울철에 외부와의 기온의 차가 심하고 대체로  $-10^{\circ}\text{C}$  이하로 떨어지는 고지대에 위치하고 있어 너털 전체에서 효율적인 열 교환이 생기기 쉬운 곳에 입지하고 있다. 이의 조건으로 돌무더기가 누석된 암괴사면의 너털지대로 일단 암석의 간극이 있으며, 겨울의 적설과 북서풍을 불어오는 북사면의 풍상사면에 위치하고 있다. 또한 암석은 석영안산암과 무등산 응회암처럼 단단하고 암괴의 크기나 범위가 커서 단열을 이룰 수 있고, 수분 함량이 좋은 심층풍화 된 화강암이 기반암으로 되어 있다. 이는 함수율이 높은 토양생성이 용이하다. 주변의 군부대의 지하수의 취수에서 알 수 있다. 아울러 암괴사면의 경사는  $30^{\circ}$ 로 급하고 수직적 온도차와 냉기가 잘 소탕되어 대류를 일으킬 수 있는 조건을 갖추고 있다. 특히 겨울의 냉기가 너털 깊숙이 주입되는 조건이 된다.

셋째, 무등산 풍혈대는 냉혈보다 온혈 현상이 탁월하며 그 기작은 다음과 같이 추정된다. 즉, 무등산 풍혈에서는 외부의 기온 조건에 따라 내부의 공기가 밖으로 나오기도 하고 반대로 안으로 유입되기도 한다. 여름철에는 공기가 냉각된 내부의 지층을 통과하면서 차가워지고, 겨울철에는 반대로 상대적으로 따뜻한 내부의 지층을 통과하면서 공기가 가열되는 대류 현상을 보인다. 또한 풍혈 내부의 수체를 확정하지 못했지만 적설 등과 수분함량이 높은 화강암류의 심층풍화층이 기반암으로 되어 있고, 풍혈 내부, 특히 풍혈내부WH10(In)의 경우 거의 절대 습도가 100%에 가까운 측정치를 가정한다면 하부의 수체가 겨울에 빙체로 바뀔 가능성이 있다고 본다. 이 경우 차가운 공기가 열을 방출하여 상승하면서 단열 팽창되어 더욱 따뜻해져서 외부로 빠져 나가게 되고 그 내포된 수증기가 밖에서 순간 포화되면서 수증기를 뿜는 온혈 현상이 될 수 있다.

이와 같이 무등산 풍혈대는 주상절리대, 너털이 하나의 세트로 형성된 연속체인 경관이고, 자연적인 온혈 현

상을 만들어 내는 기작이 작동하는 지형적 기구로서 존재한다. 이는 산지의 경관이 하나씩 떨어진 분리된 경관이 아니라, 오히려 지형, 기상, 생태 등 정적과 동적의 현상을 간직한 역동적인 경관으로 이해될 필요가 있다. 즉, 살아있는 지형학적 조건을 기반으로 다양한 물리, 기상, 식물, 역사, 관광 등 다양한 가치를 지니고 있는 지형 경관이다. 아울러 '산림유전자원보호구역'으로 지정하고 이를 통해 기후변화 취약 산림식물의 피난처(refuge)인 '풍혈지역'의 체계적인 보전을 위해 지속적인 모니터링이 필요하다. 또한 무등산의 풍혈대는 일반적 지형적 조건과 함께 제4기환경과 그 이후의 환경변화를 추정할 수 있는 고환경 복원의 지표로서도 매우 유익한 지형 경관으로 재인식될 필요가 있다.

註

- 1) 'Algific'이란 말은 고전 라틴어의 Algificus(추운, 냉향한)에서 유래되고 18세기에 사전에 처음 등장된 용어로 찬, 냉량한 의미에서 후에 기저부에서 미 기후적인 냉각 효과 갖는 북향의 애추을 가리키는 말이고 구체적인 용어로는 1980년대 초에 로 사용되었다. Algific Talus Slope는 매우 드물고 취약한 생태계와 서식지로 처음에는 미네소타, 위스콘신, 일리노이 특히 아이오와의 'Driftless Area'에서만 존재하는 것을 가리켰다(English Oxford Living Dictionary).
- 2) 광주 및 화순군 무등산(너털), 전북 진안 풍혈(너털 및 냉천), 경북 봉화 청량산(동굴), 경남 밀양 얼음골(너털), 경기 연천 동막골(동굴), 경북 의성 빙혈(너털형 동굴), 충남 보령(탄광갱도), 강원 정선(너털), 강원 홍천 방내리(너털) 등이 있다.

참고문헌

공우석·윤광희·김인태·이유미·오승환, 2012, "풍혈의 공간적 분포 특징과 관리 방안," 한국환경영향평가, 21(3), 431-443.  
 공우석·이슬기·윤광희·박희나, 2011, "풍혈의 환경 특성과 식물지리적 가치," 한국환경영향평가, 20(3),

381-395.  
 광주광역시·전라남도, 2013, 「무등산권지질공원신청서」. 국립수목원, 2013, 「한국의 풍혈」. 포천: 국립수목원.  
 김보현·나경태·장두강, 2016, "무등산국립공원풍혈지대 특성연구," 한국환경생태학회 학술대회논문집, 26(1), 53-54.  
 김영일·신영기·서정아·최영돈·송태호·강채동·김성실·노정선·정시영·김용찬, 2006, "전북 진안 풍혈의 여름철 냉풍 및 겨울철 온풍 발생 연구," 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 879-884.  
 김장수·장동호·김성훈·조자영, 2014, "상원산 생태·경관보전지역 지정을 위한 지형경관자원 발굴과 가치평가," 한국지리학회지, 3(1), 39-51.  
 김정연·박경, 2016, "풍혈지대의 지질명소로서의 가치와 보호대책에 관한 연구," 한국지형학회지, 23(2), 15-27.  
 김창환, 2016, "삼수령을 활용한 지오투어리즘," 한국지리학회지, 5(1), 13-22.  
 김현수, 2005, "무등산의 산지 지형 특색," 한국교원대학교 석사학위논문.  
 박승필, 1991, "무등산 거력군(일명 "너털정")에 관한 연구," 현대사회과학연구, 2(1), 205- 221.  
 박철웅, 1994, "한반도 남서부 해안산지 사면의 특색과 제4기 기후지형환경," 한국교원대학교 석사학위논문.  
 장동호·김장수, 2012, "일월산 생태·경관보존지역 지정을 위한 지형경관자원 발굴과 가치평가," 한국지리학회지, 1(2), 205-216.  
 장 호, 1983, "지리산지 주능선부 동부(세석-제석봉)의 주빙하지형," 지리학, 27, 31-50.  
 전남대학교, 2017, 「무등산권 지질공원 지질유산 모니터링 및 지질명소 학술보완 용역 최종보고서」.  
 전영권, 2001, "한국의 하계 동결현상 분포지에 관한 지형학적 연구," 한국지역지리학회지, 7(1), 97-106.  
 정우철·길영우·허민, 2014, "천왕봉과 안양산을 중심으로 한 무등산응회암의 암석학적 연구," 한국암석학회지, 23(4), 325-336.  
 片桐一樹·明石浩司, 2012, "長野県 飯田市風穴山の 岩塊斜面における 気温観測," 伊那谷自然史論集, 13, 1-9.  
 清水長正, 2004, "日本における 風穴の資料 - 地形条件・永久凍土などとの 関連から-, " 駒澤地理, 40, 121-148.  
 Delaloye, R., Reynard, E., Lambiel, C., Marescot, L.,

- and Monnet, R., 2003, Thermal anomaly in a cold scree slope, *Permafrost*, Swets & Zeitlinger, Lisse, Switzerland, 175-180.
- Byun, H.-R., Tanaka, H.L., Choi, P., and Kim, D.-W., 2011, Seasonal reversal at Miryang Eoreumgol (Ice Valley), Korea: Observation and monitoring, *Theoretical Applied Climatology*, 106, 403-415.
- Sébastien, M., Reynald, D., and Jonathan, D., 2008, Seasonal thermal regime of a mid-latitude ventilated debris accumulation, *Proceedings of the Ninth International Conference on permafrost*. Fairbanks, USA, 1-6.
- Shimizu, C., 2004, Documentation of wind hole in Japan-related geomorphology and permafrost, *Komazawa Geography*, 40, 121-148.
- Tanaka H.L., 1997, The numerical experiment on the summer icing on the Miryang Korea. *Jirihak-Pyeongron*, 70(A), 1-14.
- Tanaka, H.L., Noahara, D., and Yokoi, M., 2000, Numerical simulation of wind hole circulation and summertime ice formation at Ice Valley in Korea and Nakayama in Fukushima, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 78(5), 611-630.
- Tanaka, H.L., Yokoi, M., and Noahara, D., 2000, Observational study of summertime ice at the Nakayama wind-hole in Shimogo, Fukushima, *Science reports of the Institute of Geoscience, Section A, Geographical sciences*, 21, 1-21.
- Watson, E., trans., 1970, *Geomorphology of Cold Environments*, London: Macmillan(Tricart, J., 1963, *Géomorphologie des Régions Froides*, Paris: Presses Université de France).
- 관보명, 1910년 11월 25일자, 73호 2면, “추산풍혈완성” 동아일보, 1926년 10월 17일자, “향토레찬내고을명물, 상전벽해의 빙계동”
- 구글위성지도, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.earth&hl=ko>
- 조선왕조실록, <http://sillok.history.go.kr/>
- English Oxford Living Dictionary, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/Wisconsin>
- 교신 : 박철웅, 61186. 광주광역시 북구 용봉로 77, 전남대학교 사범대학 지리교육과 (이메일: parkcw@jnu.ac.kr)
- Correspondence : Chul Woong Park, 61186, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, Korea, Department of Geography Education, College of Education, Chonnam National University (Email: parkcw@jnu.ac.kr)
- 투 고 일: 2017년 11월 19일  
심사완료일: 2017년 11월 27일  
투고확정일: 2017년 12월 6일

