

연구논문

## 풍혈의 환경 특성과 식물지리적 가치

공우석 · 이슬기 · 윤광희 · 박희나

경희대학교 이과대학 지리학과

(2011년 3월 29일 접수, 2011년 6월 13일 승인)

## Environmental Characteristics of Wind-Hole and Phytogeographical Values

Kong, Woo-seok · Lee, Sleggee · Yoon, Kwanghee · Park, Heena

Department of Geography, Kyung Hee University

(Manuscript received 29 March 2011; accepted 13 June 2011)

### Abstract

Present work aims to establish an integrated management system of environmental data base for nine typical wind holes or air holes in Korea. It basically deals with definition, geographical distribution, morphological pattern, physical characteristics and anthropogenic environments of wind hole to propose systematic preservation strategy of their periglacial landscape and flora, which are known to be sensitive to global warming.

Wind hole, in which cool air blows out during the summer, but mild air comes out during the winter from a cave or hole, is frequently found on northwest- and north-facing slopes on the terminal point of steep talus, block field, and block stream, and can be categorized into three types, *i.e.*, talus, cave and sink types.

Environmental characteristics of nine wind holes are analyzed on the basis of their geology, landform, climate, soil, hydrology, vegetation, road, footpath, land-use, and management system, and relevant DB are prepared. Wind hole areas with unique landscape and ecological values need to be designated as a nature reserve, and zoning of core, buffer, and transitional zones are required for the multi-dimensional preservation of periglacial landscape and ecosystem.

Phytogeographical values of glacial relict plants, including mountain cranberry(*Vaccinium vitis-idaea*) at its global southernmost limit at Bangnaeri wind hole, Hongchon County,

Gangwon Province of Korea are discussed in detail as a floristic refugia in connection with climate change during the Pleistocene Epoch and potential *in-situ* and *ex-situ* preservation sites in the future.

Keywords : wind hole, periglacial landscape and flora, environmental characteristics, phytogeographical values, refugia

## I. 서론

기후변화에 따른 지구온난화가 자연생태계 전반에 적지 않은 영향을 미치고 있다. 기후변화가 가속화되면서 식물 서식지가 교란되거나 급격하게 서식환경이 바뀌면서 생리적으로 적응하지 못한 종이나 새로운 서식지로 미처 이동하지 못한 식물들이 새로운 환경에서 보다 경쟁력이 있는 식물종에 밀려 사라지는 일도 나타나고 있다. 지구온난화를 현재와 같이 방치 한다면 이로 인한 환경의 변화로 동·식물의 3분의 1 정도가 50년 이내 멸종위기에 처할 것이라는 주장도 있다.

지구온난화는 극지, 고산과 아고산, 사막, 습지 등 특이한 환경조건이 요구되는 생물의 서식지에 큰 피해를 가져 온다. 특히 극지와 고산 등 한랭한 기후에 적응하여 살아온 생물들에게 기온 상승은 치명적인 피해를 가져 오는 요인이 된다. 원래 자라던 식물은 현지 내(*in-situ*)에 보전하는 것이 가장 이상적이지만, 기후변화 때문에 식물종을 현지에 보전하는 것이 어려울 경우 현지 외(*ex-situ*)에 체계적으로 보전할 필요가 있다.

우리나라 산지에 발달하는 풍혈에는 지구온난화에 취약한 북방계(北方系, boreal element) 식물종이 많이 분포한다. 풍혈은 신생대 제4기 플라이스토세 빙기(氷期, glacial period)에 북쪽의 추위를 피해 남하했던 북방계 식물들이 최후빙기(最後氷期, last glacial maximum) 이후 간빙기(間氷期, inter-glacial period)에 재이주과정에서 국소적 기후환경에 적응 격리되어 있는 피난처(避難處, refugia)이다. 풍혈은 북방계식물의 잠재적인 서식지로 이용될 수 있으며, 풍혈의 원리를 이용하여 극지고산식물과 고산식물 등 북방계 식물종을 보전할

수 있는 인공서식지도 개발할 수 있다. 이를 위해 고산과 아고산과 함께 풍혈지역에 분포하는 빙기 잔존식물(殘存植物, relict plant) 또는 유존식물(遺存植物)에 대한 식물지리적 분석이 필요하다.

## II. 연구목적, 자료 및 방법

이 연구는 우리나라 주요 풍혈의 지리적 분포 현황을 조사하고, 자연환경과 인문지리적 특성을 파악하여 풍혈과 관련된 공간 정보를 체계적으로 통합 관리 하는데 있다. 아울러 기후변화 취약종인 북방계 빙기 잔존종의 현재 내·외 보전지로서 풍혈의 가치를 분석하였다.

연구에서는 풍혈의 개념과 용어를 체계적으로 정리한 뒤, 풍혈 현상이 발생하는 요인에 관련된 이론을 소개하였다. 풍혈 현상이 확인되어 산림청 국립수목원에서 식물계절을 관측하고 있는 9곳에 대하여 2010년 7월부터 8월 사이와 10월과 11월 사이에 현지조사를 실시하였다. 이를 통해 전국 주요 풍혈의 분포와 지질, 지형, 기후, 토양, 수문, 식생, 도로와 등산로, 토지이용, 관리체계 등 관련 환경정보에 대한 DB를 구축하고 지도화(地圖化, mapping)하였다. 이를 기초로 우리나라의 풍혈을 유형화하고 지역별 풍혈의 특성을 파악하였다. 풍혈의 식물지리적 가치는 강원도 홍천군 내면 방내리에 소재하는 전형적인 극지고산식물인 월굴 등을 사례(공우석·임종환, 2008)로 분석하였다.

풍혈의 환경 특성을 파악하기 위하여 사용된 자료는 지형도(한국디지털지형도V7), 지질도(한국지질자원연구원 지질정보시스템, <http://geoinfo.kigam.re.kr>), 산림토양도(산림청 산림공간정보포털, <http://fgis.forest.go.kr>), 임상도(산림청 산림

공간정보포털, <http://fgis.forest.go.kr>), 생태자연도(환경부 환경공간정보서비스, <http://egis.me.go.kr>), 토지피복도(국가수자원관리정보시스템, <http://www.wamis.go.kr>) 등이다.

### III. 풍혈의 자연환경

#### 1. 풍혈의 정의

풍혈(風穴, air hole 또는 wind hole)은 애추, 암괴원, 암괴류 등 크고 작은 암설이 퇴적된 사면에서 미기상학적 현상에 의해 여름철에는 찬 공기가 나오고 겨울이면 따뜻한 바람이 불어 나오는 바람구멍, 바위틈 또는 소규모 자연동굴이다. 즉 암설이 퇴적된 사면의 바위틈에서 여름철에 찬 공기가 스며 나오고 겨울에는 상대적으로 따뜻한 공기가 나오는 등 국소적 저온환경을 형성하는 지역을 말한다(공우석 등, 2010).

풍혈 가운데 얼음은 생성되지 않고 바람만 나오는 곳으로 바람구멍 또는 바람굴이라고 부르고, 여름까지 얼음이 유지되는 곳은 얼음골(氷谷, ice valley), 얼음굴(氷窟, ice cave), 빙혈(氷穴, ice hole), 빙계(氷溪, ice valley), 하계 동결 현상지(夏季凍結現象地) 등 여러 이름으로 부르지만, 이들은 기본적으로 풍혈의 하나이다.

일부 풍혈에서는 찬바람이 나오는 바람구멍과 함께 차가운 샘물이 솟는 냉천(冷泉, cold spring)이 발달한다. 냉천은 고형물질, 가스상 물질 또는 특수한 물질을 함유하고 샘(泉)의 온도가 20~25℃ 이하인 지중으로부터의 용출수이다. 반면 샘의 온도가 25℃ 이상이면 온천(溫泉, hot spring)으로 분류한다.

#### 2. 풍혈의 지형

풍혈이 발달하는 애추(崖錐, talus)는 오랜 세월 에 걸쳐 가파른 암석 절벽인 단애(斷崖, cliff)로부터 중력에 의해 암괴원이나 암괴류에 비해 상대적으로 작은 암석들이 떨어져 퇴적되어 만들어진 반원추형 또는 고깔 모양의 지형이다. 애추는 한랭한 빙하 주변에 발달하는 주빙하(周氷河, periglacial)

환경에서 동결(凍結, freezing)과 융해(融解, thawing)가 반복되어 기계적 풍화작용이 활발한 곳의 단애 아래에 암설이 쌓여 형성된다. 저온 환경에서 바위틈으로 스며들어간 물이 얼면 부피가 늘어나 압력을 가하여 바위를 부스러뜨리고, 퇴적물 속에서 물이 얼면 물질을 위로 들어 올리게 되는데, 이러한 기계적 풍화에 의하여 만들어진 암설 사이에서 풍혈은 주로 발생한다.

애추의 경사도는 위쪽이 크고 아래쪽이 작으며 구성 물질이 크고 울퉁불퉁할수록 경사가 가파르지만 일반적으로 25~40° 정도의 경사를 나타낸다. 크기가 다른 날카로운 돌무더기가 산의 사면에 쌓인 애추는 과거 빙기 때 기후가 한랭했음을 나타낸다. 우리나라에서는 최후빙기 이후 주빙하성 활동이 활발하지 않았기 때문에 더디어서 애추에 식생의 천이가 진행되었다.

암괴원(岩塊原, block field)은 고산지역에서 암괴가 스며드는 물의 동결과 융해로 인한 얼음 쐐기(ice wedge) 작용으로 기반암에서 분리된 노란 암괴들이 완만한 경사면에 부서져 흩어진 암석노출면이다. 암괴류(岩塊流, block stream)는 주빙하 환경에서 사면에 직경이 30cm 이상의 암괴들로 덮인 암괴원이 집단적으로 사면의 경사를 따라 비교적 좁고 길게 흘러내린 것이다. 경사면에 암설들이 널리 퇴적되어 있는 지형을 너털 또는 전석지(轉石地)라고 부르는데, 이보다는 지형면의 특징에 따라 애추, 암괴원, 암괴류으로 구분하여 분류하는 것이 바람직하다.

#### 3. 풍혈의 형성 시기

풍혈은 신생대 제4기 플라이스토세 빙기에 빙하가 발달하는 한랭한 기후대 주변의 주빙하(周氷河, periglacial) 환경으로 현재보다 기온이 현저히 낮았던 시기에 주로 형성되었다. 제4기(第4紀, Quaternary)는 신생대(新生代, Cenozoic)의 마지막 기(紀)로 약 200만~160만 년 전부터 현재까지의 시대로 1만 년 전을 기준으로 플라이스토세(Pleistocene Epoch)와 홀로세(Holocene Epoch)로 나뉜다. 플라이스토세는

신생대의 마지막 시기인 제4기의 전반부로 지금으로부터 약 160만~1만 년 전 동안 빙기와 간빙기가 반복되는 주기적인 기후 변화가 일어났던 시기이다.

플라이스토세 빙기 중에 기반암이 동결과 융해를 거듭하면서 기계적인 풍화과정을 거쳐 암석을 부스러뜨리는 작용(frost shattering)과 들어 올리는 작용(frost heaving)에 의해 애추, 암괴원, 암괴류 등이 형성된 산지와 산록에 풍혈은 주로 나타난다. 애추, 암괴원, 암괴류 등 암설퇴적지형은 지금도 한랭한 곳에 주로 발달한다.

#### 4. 풍혈 발생 메카니즘

풍혈이 발생하는 메카니즘에 대하여 많은 학자들이 다양한 가설들을 제시하고 있으나 해당 풍혈에 대한 연구 성과가 많지 않고 일부 연구가 활발하게 진행된 곳에 대해서도 통일된 이론이 제시되지 않고 논의가 진행 중이다.

우리나라에서 풍혈의 형성 메카니즘에 대한 연구는 밀양 얼음골을 중심으로 김성삼(1968), 문승의·황수진(1977), Bae and Kayane(1986), 배상근(1990), 정창희(1992), Song(1994), 田中博(1997), Hwang and Moon(1981), Tanaka *et al*(1995, 1997, 1998, 1999, 2000), 변희룡(2003), 변희룡 등(2004), 이종호(2004), 황수진 등(2005)에 의해 연구되었다. 다른 지역의 풍혈 발생에 대한 연구는 Bae and Kayane(1986), 장광수(1989), Nohara *et al*(2002), 전병일(2002), Tanaka *et al*(2006), Byun 등(2006)의 연구가 있다. 다음에는 앞에 언급한 문헌들에 제시된 풍혈 발생 메카니즘에 대한 여러 가설들을 소개한다.

첫째, 지형적 특수성 가설은 밀양 얼음골을 사례로 계곡의 방향과 경사 등 지형적 특수성으로 풍혈을 설명한다.

둘째, 기화열의 빙점 유도설은 애추 아래 물이 증발하는 과정에서 열을 빼앗으면서 풍혈에 얼음이 언다는 것이다.

셋째, 단열 팽창설은 애추 외부의 온도가 올라가는 여름이 되면 외부 공기가 굴뚝에 역류하듯이 바

위틈의 작은 내부로 흘러 들어가서 저온의 바위에 의해 냉각되면서 풍혈이 형성된다는 것이다.

넷째, 대류 결빙설에 따르면 지하에 결빙된 얼음이 한여름까지 지속되면서 애추의 안팎은 매우 안정된 상태를 유지한다. 이때 따뜻한 공기가 애추 안으로 들어오지 못하고 여름까지 얼음이 남아 있게 되면서 풍혈이 나타난다.

다섯째, 자연대류설은 겨울철 차가운 공기가 돌발 하단으로 들어가 돌의 열을 빼앗아 데워진 다음 위로 올라가는 과정이 반복되면서 돌발 전체가 냉각되어 풍혈이 발생한다. 이후 여름이 되면 돌 안쪽의 냉각된 기운이 하단으로 빠져 나오고 그 빈 공간을 위에서부터 뜨거운 바람이 채워 넣는다는 가설이다.

여섯째, 재생기 효과는 자연대류에 의해 겨울철의 냉혈이 돌에 저장되어 있다가 방출되면서 풍혈이 발생한다는 것이다.

일곱째, 온도 지연 현상은 지상에서 지하로 내려갈수록 계절의 지연 현상이 일어나기 때문에 다른 지역보다 4개월 정도나 기온 변화가 늦게 진행되면서 풍혈이 나타난다는 것이다.

여덟째, 냉기의 침강은 애추 안과 밖의 밀도 차이 때문에 겨울에는 계곡의 냉기가 애추를 통하여 지하로 흘러 들어가고 애추 내부의 비교적 따뜻한 공기는 절벽 쪽으로 흘러들어 나오면서 계곡과 애추, 그리고 애추 내부는 충분히 냉각되어 풍혈이 나타난다고 본다.

아홉째, 열 다이오드설은 동굴형 풍혈에서 비탈진 언덕 지하에 형성된 동굴로 외부와 통하는 통로가 있을 때 굴 주위의 땅이 열 저장매체로 작용하여 겨울에는 차가운 공기가 굴 안으로 유입되어 굴 안을 식히면서 외부보다 아주 조금이나마 더운 내부 공기가 부력으로 쉽게 굴 밖으로 나간다. 그러나 여름이 되면 밖의 온도는 높은 반면 굴 내부의 공기는 차갑고 밀도가 높아 안정하기 때문에 차가운 공기가 밖으로 유출되지 않고 그대로 굴 안에 머무르게 되면서 풍혈이 나타난다.

열째, 애추에 의한 단열효과는 얼음골을 덮고 있

는 애추는 주로 안산암으로 이루어져 있고 암석의 공극을 채우고 있는 공기 때문에 애추 외부와 모관대 상부 사이에 단열 상태가 이루어진다. 이러한 현상은 겨울에 냉각된 애추 내부가 여름까지 저온을 유지하여 풍혈이 발생한다는 설명이다.

마지막 기반암 관련설은 풍혈과 냉천 현상에 대해 경사진 비탈면에 구멍이 뚫린 채 쌓여 있는 화산암을 원인으로 꼽는다. 이 밖에도 풍혈의 발생을 설명하는데 여러 가설이 있다.

## IV. 결과

### 1. 풍혈의 분포

이 연구에서는 우리나라 풍혈 가운데 소재가 확인되었고 미기상 현상이 관측되어 산림청 국립수목원에서 식물계절을 관측하고 있는 경기도 연천군 연천읍 동막리, 강원도 홍천군 내면 방내리, 강원도 정선군 신동읍 덕우리, 강원도 정선군 신동읍 운치리, 충청북도 제천시 수산면 능강리, 경상북도 청송군 부동면 내룡리, 경상북도 의성군 춘산면 빙계리, 전라북도 진안군 성수면 좌포리, 경상남도 밀양시 산내면 남명리 풍혈 등 9개 장소를 조사하였다(그림 1).

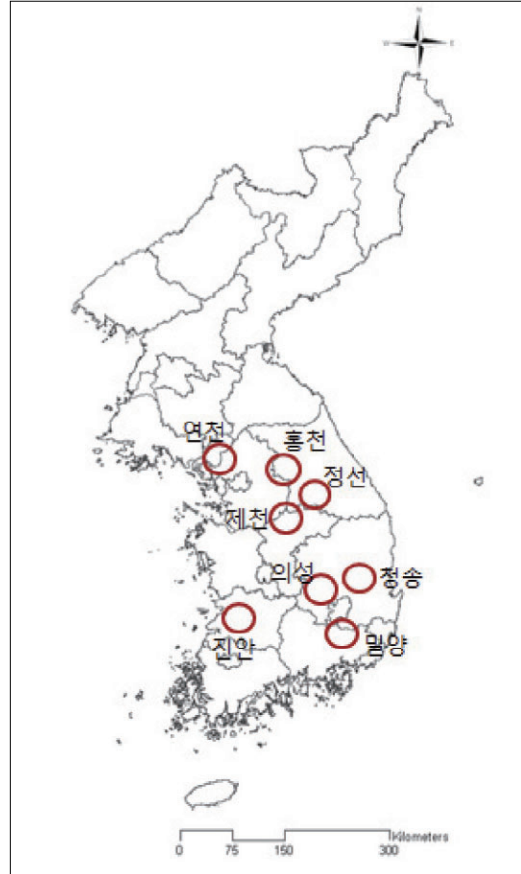


그림 1. 조사 대상 풍혈 위치

표 1. 조사 풍혈 현황

행정구역	경도/위도	고도(m)	지형	도로	토지이용
경기도 연천군 연천읍 동막리	127° 06' 630"E, 38° 04' 990"N	70~350	산록말단면, 하천변	도로 근접	경작지, 주변 민가 근접
강원도 홍천군 내면 방내리	128° 16' 150"E, 37° 48' 288"N	350 일대	산록말단면	도로 근접	경작지, 주변 민가
강원도 정선군 신동읍 덕우리	128 43' 370"E, 37° 21' 940"N	350~430	산록말단면, 하천변	도로 근접	경작지, 하천 근접
강원도 정선군 신동읍 운치리	128° 37' 120"E, 37° 15' 832"N	320~400	산록말단면	도로 연결	삼림지
충청북도 제천시 수산면 능강리	128° 14' 702"E, 36° 59' 447"N	680 일대	산록중간면	등반 접근	삼림지, 냉천 발달
경상북도 청송군 부동면 내룡리	129° 13' 428"E, 36° 18' 955"N	240~330	산록말단면, 하천변	도로 연결	주변 관광지, 냉천 발달, 하천변
경상북도 의성군 춘산면 빙계리	128° 45' 327"E, 36° 13' 885"N	140~180	산록말단면, 하천변	도로 연결	주변 관광지, 냉천 발달, 하천 인접
전라북도 진안군 성수면 좌포리	127° 17' 743"E, 35° 43' 803"N	260~380	산록말단면, 하천변	도로 연결	경작지, 관광지, 냉천 발달, 하천 인접
경상남도 밀양시 산내면 남명리	128° 59' 030"E, 35° 34' 480"N	400~700	산록중간면	등반 접근	삼림지, 주변 관광지, 계류 인접

표 2. 풍혈의 유형

풍혈 유형	지형 환경	소재 지역
애추형 풍혈	애 추	강원도 홍천군 내면 방내리 풍혈 강원도 정선군 신동읍 덕우리 풍혈 경상북도 청송군 부동면 내룡리 얼음골 경상남도 밀양시 산내면 남명리 얼음골
동굴형 풍혈	애 추, 암괴류, 암괴원	경기도 연천군 연천읍 동막리 풍혈 강원도 정선군 신동읍 운치리 풍혈 경상북도 의성군 춘산면 빙계리 빙혈 빙계골 전라북도 진안군 성수면 좌포리 풍혈냉천
함몰형 풍혈	애 추	충청북도 제천시 수산면 능강리 능강계곡 한양지



그림 2. 밀양(왼쪽), 진안(가운데), 제천(오른쪽) 풍혈 경관

이번 조사에 포함된 9곳 풍혈의 행정구역, 경도와 위도, 해발고도, 지형 조건, 도로 현황, 토지이용 현황 등을 요약한 내용은 표 1과 같다.

## 2. 풍혈의 유형

아직까지 국내에서 풍혈의 유형과 환경 특성에 대한 종합적인 연구 성과는 수행되지 않았다. 이 연구에서는 현지조사를 바탕으로 조사 대상 9개 풍혈을 형태에 따라 애추형 풍혈, 동굴형 풍혈, 함몰형 등 3개 유형으로 구분하였다(표 2).

### 1) 애추형 풍혈

애추형 풍혈은 상대적으로 암설의 크기가 작은 산록의 애추 위에 발달하는 크고 작은 바위 사이로 일 년 내내 일정한 온도가 유지되도록 바람이 불어 여름에는 찬바람이 나오고 겨울에는 따뜻한 바람이 나오는 풍혈이다. 강원도 홍천군 내면 방내리 풍혈, 강원도 정선군 신동읍 덕우리 풍혈, 경상북도 청송군 부동면 내룡리 청룡사 부근 얼음골, 경상남도 밀양시 산내면 남명리 얼음골(그림 2) 등이 애추형 풍혈에 포함된다.

### 2) 동굴형 풍혈

동굴형 풍혈은 애추, 암괴류, 암괴원 등에서 상대적으로 암설의 크기가 큰 바위틈에 얼음골, 동굴 형태로 나타나는 풍혈로 경사가 급한 말단면에 주로 나타나는 대형 풍혈을 이른다. 경기도 연천군 연천읍 동막리 풍혈, 강원도 정선군 신동읍 운치리 풍혈, 경상북도 의성군 춘산면 빙계리 빙혈 빙계골, 전라북도 진안군 성수면 좌포리 풍혈냉천(그림 2) 등이 동굴형 풍혈에 속한다.

### 3) 함몰형 풍혈

함몰형 풍혈은 풍화와 침식을 받아 만들어진 애추 등 암석사면에서 경사급변점 등 비고의 차이가 나는 지점을 중심으로 중간의 암설 가운데 일부가 빠져나가 움푹 파이면서 만들어진 풍혈이다. 충청북도 제천시 수산면 능강리 한양지(그림 2)가 이 유형이다.

## 3. 풍혈 유형별 환경 특성

### 1) 지형·지질·토양

애추형 풍혈인 홍천 방내리, 정선 덕우리, 청송

표 3. 풍혈별 지형·지질·토양 특성

유형	풍혈	고도(m)	사면방향	경사	지질	산림토양				
애추형	강원 홍천 방내리	350	북서	완	고생대 실루리아기 반상변정질편마암	갈색약습산림토양, 갈색적운산림양				
	강원 정선 덕우리	360	북	급	고생대 오르도비스기 막골석회암	적색산림토, 암적색약건조산림토				
	경북 청송 내룡리	250	북서	급	중생대 백악기 안산암질암	적색산림토, 암쇄토양				
	경남 밀양 남명리	440	북	급	중생대 백악기 석영안산암	적색산림토, 갈색건조·약건조산림토				
동굴형	경기 연천 동막리	80	북서	급	중생대 백악기 응회각력암	적색산림토, 암쇄토양				
	강원 정선 운치리	340	남서	급	중생대 백악기 염기성암맥	암적색건조·약건조산림토				
	전북 진안 좌포리	270	동	급	중생대 백악기 달길층	적색산림토				
	경북 의성 빙계리	150	남동	완	중생대 백악기 유문암질각력암	적색산림토, 갈색약건조산림토양				
함몰형	충북 제천 능강리	680	북서	급	중생대 백악기 화강암	갈색건조산림토, 갈색약건조산림토				
총합(%)	산록 말단	78	북서	45	급경사	78	고생대 오르도비스기	11	적색산림토	39
			북	22			갈색산림토	33		
			남서	11			고생대 실루리아기	11	암적색산림토	17
	산록 중간	22	동	11	완경사	22	중생대 백악기	78	암쇄토양	11
			남동	11						

내룡리, 밀양 남명리 얼음골 등 4곳의 해발고도는 250~440m이다. 풍혈이 발달하는 사면의 방향은 북사면과 북서사면이다. 사면의 경사도는 홍천 방내리 풍혈이 완경사이고, 나머지 3곳은 급경사이다. 지질은 홍천 방내리는 고생대 실루리아기의 반상변정질편마암, 정선 덕우리는 고생대 오르도비스기의 막골석회암, 청송 내룡리는 중생대 백악기의 안산암질암, 밀양 남명리는 백악기의 석영안산암이다. 산림토양은 홍천 방내리에서 A-B-C층의 토양발달이 양호한 갈색약습산림토와 갈색적운산림토, 정선 덕우리는 적색산림토와 암적색약건조산림토, 청송 내룡리는 적색산림토, 암쇄토, 밀양 남명리는 적색산림토와 갈색산림토(건조, 약건조)이다(표 3).

동굴형 풍혈은 경기 연천 동막리, 강원 정선 운치리, 경북 의성 빙계리, 전북 진안 좌포리 등 4곳에

서 나타내며 해발고도는 연천 동막리 풍혈(80m)부터 정선 운치리 풍혈(340m)까지에 분포한다. 사면의 방향은 연천 동막리와 청송 내룡리 풍혈은 북서사면, 의성 빙계리 풍혈은 남동사면, 진안 좌포리 풍혈은 동사면이다. 사면의 경사도는 의성 빙계리를 제외하고 모두 급경사이고, 지질은 모두 중생대 백악기의 응회각력암, 달길층, 사곡층, 안산암질암이다. 산림토양은 모두 적색산림토이고, 연천 동막리에서 암쇄토양, 정선 운치리에서 암적색건조·약건조산림토, 의성 빙계리에서는 갈색약건조산림토양이 함께 나타난다(표 3).

함몰형 풍혈은 충북 제천 능강리 1곳으로 해발고도는 680m로 조사한 9군데 풍혈에서 가장 높았고, 사면의 방향은 북서사면, 사면의 경사는 급경사, 지질은 중생대 백악기 화강암이며, 산림토양은 갈색

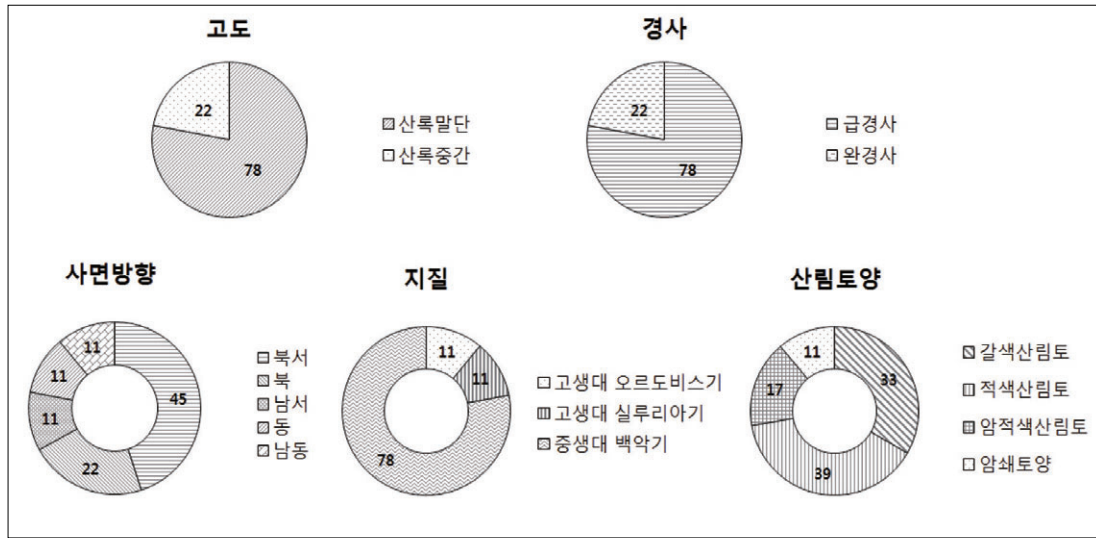


그림 3. 풍혈별 지형·지질·토양 특성

산림토양(건조, 약건조)이다(표 3).

전체적으로 풍혈의 78%가 지형적으로 산지와 평지가 만나는 경사급변점인 산록말단면에 발달한다. 풍혈의 사면방향은 북서사면(45%)과 북사면(22%)으로 일사량이 상대적으로 적고 기온의 교차가 크지 않은 곳에 주로 나타난다. 풍혈의 78%가 사면이 급경사를 이루고 배후에 기반암이 노출되어 있는 곳에 주로 발달한다. 풍혈이 발달하는 곳의 지질은 중생대 백악기의 층이 78%로 가장 많았으며, 애추형 풍혈(홍천 방내리, 정선 덕우리)에는 고생대의 지질(22%)이 나타난다. 풍혈이 나타나는 곳의 산림토양은 적색 계통 산림토가 56%로 주를 이루었다(그림 3).

### 2) 식생·자연생태등급

애추형 풍혈에 속하는 홍천 방내리, 정선 덕우리, 청송 내룡리, 밀양 남명리의 임상은 침활혼효림, 낙엽송림, 활엽수림, 소나무림, 잣나무림, 제지, 경작지 등 7가지로 구성되어 있다. 식생유형은 산지 침엽수림 3곳, 산지 낙엽침엽수림 2곳, 산지 낙엽활엽수림 1곳으로 한랭한 기후에서 자라는 침엽수림이 우점한다. 현존식생은 소나무, 소나무-신갈나무, 신갈나무, 신갈나무-굴참나무, 굴참나무 등 온대기후에 발달하는 식생군락이 나타난다. 생태자연도는

정선 덕우리, 청송 내룡리 풍혈의 등급은 1등급으로 분류되어 법에 의해 보전·관리되고 있으며, 홍천 방내리와 밀양 남명리의 풍혈은 자연공원법 별도관리지역으로 지정되어 있다(표 4).

동굴형 풍혈에 속하는 연천 동막리, 정선 운치리, 의성 빙계리, 진안 좌포리 풍혈의 임상은 침활혼효림, 활엽수림, 소나무림, 잣나무림 등 애추형 풍혈의 임상보다 종류가 적다. 식생은 산지 낙엽침엽수림인 연천 동막리를 제외하고, 모두 산지 침엽수림으로 한랭한 기후를 반영한다. 식물은 정선 운치리, 의성 빙계리 등 2곳에는 소나무 군락, 연천 동막리에는 굴참나무 군락, 진안 좌포리에는 굴참나무-소나무 군락으로 온대 산록에 발달하는 유형이다(표 4).

생태자연도의 보전등급에서 의성 빙계리의 풍혈은 별도관리지역, 연천 동막리 풍혈 일대는 군사보호구역으로 지정이 되어 개발에 따른 위협이 크지 않다. 그러나 정선 운치리, 진안 좌포리 풍혈은 보전지역으로 지정되어 있지 않다. 특히 진안 좌포리 풍혈은 인위적인 교란에 의해 원형이 파괴되고 있으므로 풍혈 경관을 보호하기 위한 지구 지정이 필요하다.

함몰형 풍혈인 제천 능강리의 임상은 활엽수림, 낙엽송림 침활혼효림 등 3가지로 구성되며, 산지 낙



표 4. 풍혈별 식생·자연생태등급 특성

유형	풍혈	임상	식생유형	식물군락	생태등급				
애추형	강원 홍천 방내리	침활혼효림, 낙엽송림	산지 낙엽침엽수림, 산지 침엽수림	소나무, 소나무-신갈나무, 신갈나무	별도관리지역				
	강원 정선 덕우리	침활혼효림, 활엽수림	산지 낙엽침엽수림, 산지 침엽수림	신갈나무-굴참나무, 소나무-신갈나무	1등급				
	경북 청송 내룡리	활엽수림, 소나무림	산지 침엽수림	소나무	1등급, 3등급				
	경남 밀양 남명리	활엽수림, 제지, 경작지	산지 낙엽활엽수림	굴참나무	별도관리지역				
동굴형	경기 연천 동막리	활엽수림, 침활혼효림	산지 낙엽침엽수림	굴참나무	등급지정 X (군사보호구역)				
	강원 정선 운치리	소나무림, 잣나무림, 활엽수림	산지 낙엽침엽수림, 산지 침엽수림	소나무-신갈나무	1등급				
	경북 의성 빙계리	침활혼효림	산지 침엽수림	소나무	별도관리지역, 1등급(자연경관)				
	전북 진안 좌포리	활엽수림, 침활혼효림, 잣나무림	산지 침엽수림	굴참나무-소나무	등급지정 X				
함몰형	충북 제천 능강리	활엽수림, 낙엽송림, 침활혼효림	산지 낙엽침엽수림, 산지 침엽수림	소나무-굴참나무	1등급				
총 합(%)		활엽수림	32	산지 침엽수림	56	소나무	26	1등급	44
		침활혼효림	35		신갈나무	4			
		소나무림	9	산지 낙엽침엽수림	33	굴참나무	22	3등급	6
		잣나무림	8	소나무-신갈나무	20				
		낙엽송림	9	산지 낙엽활엽수림	11	소나무-굴참나무	11	별도관리지역	28
		기타(제지, 경작지)	7			신갈나무-굴참나무	6		
굴참나무-소나무	11	등급지정없음	22						

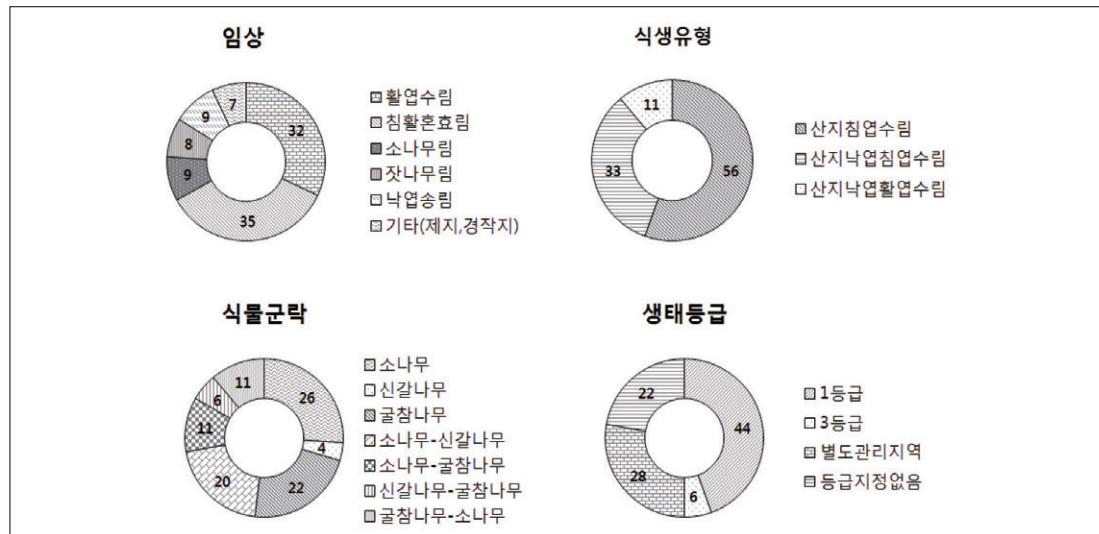


그림 4. 식생·자연생태등급 비율

엽침엽수림·산지 침엽수림의 식생유형이 나타난다. 식물군락은 소나무-굴참나무 군락이 나타나며, 생태자연도에 생태등급 1등급으로 지정되어 있다. 그러나 등반객의 통행이 많아지면서 교란이 발생하였다(표 4).

요약하면 풍혈지역의 임상은 침활혼효림이 35%, 활엽수림이 32%를 차지하며, 소나무림(9%), 낙엽송림(9%), 잣나무림(8%), 기타(7%)로 섞여 나타난다. 식생유형은 산지 침엽수림이 풍혈의 56%로 한랭한 기후를 반영하는 식생이 우점하고, 산지 낙엽침엽수림이 33%, 산지 낙엽활엽수림이 11%의 비율을 보인다. 풍혈에서 보이는 대표적인 식물군집은 소나무 군락이나 소나무가 섞여 자라는 것이 68%로 높은 비율을 차지하며, 굴참나무군락과 굴참나무가 섞여 자라는 식생이 전체의 50% 정도를 차지하여 온대기후의 식물 분포를 보인다. 생태등급은 1등급으로 지정된 곳이 풍혈의 44%, 별도관리지역으로 지정된 곳이 28% 순이었다(그림 4).

### 3) 토지이용

전국 9개 풍혈을 대상으로 토지이용에 대해 조사한 결과는 표 5와 같다. 애추형 풍혈 주변 토지이용은 경작지 2곳(홍천 방내리, 정선 덕우리), 삼림지 1곳(밀양 남명리), 관광지 1곳(청송 내룡리)이다. 애

추형 풍혈 가운데 관광지로 개발되어 여름을 중심으로 많은 관광객이 찾는 곳은 밀양 남명리이고, 청송 내룡리 풍혈은 여름뿐만 아니라 인공빙벽이 설치되어 있어 겨울에도 관광객이 많다. 산속에 위치한 밀양 남명리 풍혈을 제외한 다른 풍혈은 모두 도로와 인접하거나 연결되어 있다.

동굴형 풍혈의 토지이용은 정선 운치리와 연천 동막리 풍혈이 개발되지 않아 여름에만 관광객이 찾는다. 연천 동막리에 유원지가 있으나 풍혈 주변이 개발되지 않은 것은 이 일대가 군사시설구역으로 지정되어 있고 하천과 인접하여 토지이용에 제한이 있기 때문이다. 연천 동막리 풍혈은 다른 풍혈에 비해 수도권에서 접근이 용이하지만 상업시설이 없고 주변은 논, 밭 등 경작지로 이용된다. 그러나 참호와 통행로 등 군사시설을 만들면서 풍혈의 원형이 훼손되었다(표 5).

관광지가 발달한 동굴형 풍혈은 진안 좌포리, 의성 빙계리, 청송 내룡리 등 3곳으로 냉천이 함께 발달한다. 냉천 주위의 샘물과 계곡물은 차가워 여름철에 많은 피서객들로 붐빈다. 진안 좌포리 풍혈과 의성 빙계리 풍혈에는 찬바람이 가장 많이 나오는 지점에 찬 공기를 가두어 두는 인공구조물을 설치하여 풍혈의 원형이 크게 훼손되었다. 동굴형 풍혈은 모두 도로와 연결되어 있거나 바로 근접하고 있

표 5. 풍혈별 토지이용 특성

유형	풍혈	도로망	토지이용	
애추형	강원 홍천 방내리	도로 근접	경작지, 주변 민가	
	강원 정선 덕우리	도로 근접	경작지	
	경북 청송 내룡리	도로 연결	주변 관광지, 냉천	
	경남 밀양 남명리	등반 접근	삼림지, 주변 관광지	
동굴형	경기 연천 동막리	도로 근접	경작지, 주변 민가	
	강원 정선 운치리	도로 연결	삼림지	
	경북 의성 빙계리	도로 연결	주변 관광지, 냉천	
	전북 진안 좌포리	도로 연결	경작지, 주변 관광지, 냉천	
함몰형	충북 제천 능강리	등반 접근	삼림지, 냉천	
총 합(%)	도로연결	44	경작지	26
			민가	11
	도로근접	33	관광지	20
			산림지	22
	등반접근	22	냉천	20

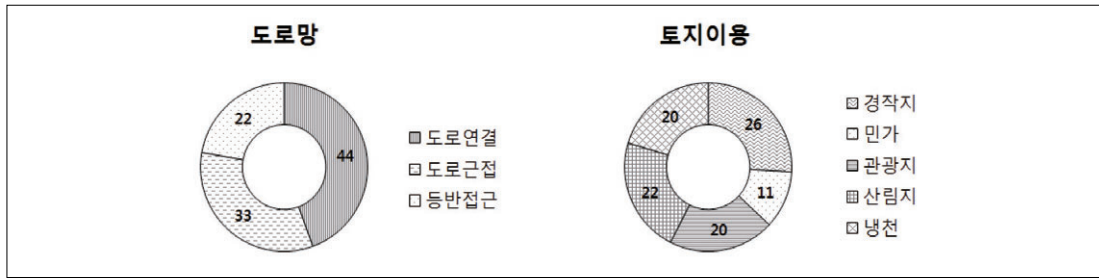


그림 5. 풍혈별 도로망과 토지이용

고 개발 요구가 커서 향후 풍혈을 보전하기 위한 적극적인 관리대책이 필요하다(표 5).

함몰형 풍혈인 충북 제천 능강리 풍혈의 주위는 금수산의 높은 산지로 둘러싸인 계곡부의 형태를 보이며 주변은 울창한 삼림으로 피복되어 있다. 애추사면 주위 골짜기의 능강계곡은 등산로를 제외하고 접근하기가 어려워 다른 냉천이 발달한 곳에 비해 관광지로 개발되지 않았으나 등반객들이 여름에 더위를 피하기 위하여 애추의 풍혈에 구덩이를 파면서 원형이 훼손되었다(표 5).

요약하면 9개 풍혈의 토지이용은 주로 경작지와 관광지이다. 풍혈 주변이 경작지와 관광지로 이용되는 것은 풍혈의 원형이 유지되고 독특한 미기상 현상이 지속되는데 부담을 줄 수 있으므로 토지이용에 적절한 제재가 필요하다. 도로와의 접근에 있어서 높은 산지에 있는 경남 밀양 남명리(해발 440m), 충북 제천 능강리(해발 630m) 풍혈을 제외하고 모두 도로와 근접(33%)하거나 연결(44%)되어 있어, 관리방안을 입안하고 보전대책을 수립할 때 접근성에 따른 피해를 줄이기 위한 대안이 요구된다(그림 5).

#### 4. 풍혈의 식물지리

##### 1) 빙기와 식물

빙기(氷期, glacial period) 또는 빙하기(氷河期, ice age)는 기온이 한랭해져 남·북반구의 고위도 지방이나 저위도의 높은 산악지대 등에 빙하가 널리 발달했던 시기이지만, 빙기 동안에도 따뜻한 시기와 추운 시기가 교차하였다. 빙기 중 기온의 변동

폭은 수℃에서 10℃에 이르고 설선고도(雪線高度, snow-line)는 750m까지 오르내리고 해수면은 100m 내외로 오르내림을 거듭한 것으로 알려졌다.

빙기 동안 육지의 30% 정도가 얼음으로 덮이면서 생물의 분포범위가 축소되었으며, 동·식물의 종수도 크게 줄었다. 오늘날 한반도의 고산대, 아고산대와 산록의 풍혈에 나타나는 북방계 식물들은 빙기 때 북쪽의 한랭한 추위를 피해 남하하거나 산록으로 내려 왔다가 지금부터 약 1만 년 전 홀로세에 들어 기후가 온난해지면서 한랭한 기후가 유지되는 곳에 살아남은 빙기 잔존식물 또는 유존식물이다(공우석, 2002).

빙기에 북쪽의 추위를 피해 빙하의 직접적인 영향권에서 벗어난 중위도의 한랭한 곳에 널리 자랐던 대표적인 종은 돌매화나무, 담자리꽃나무, 린네풀 등 빙하식물군(氷河植物群, glacial flora)으로 현재 유라시아와 북아메리카의 극지와 온대 고산에도 자란다. 돌매화나무는 암석의 갈라진 틈에 토사나 부식질이 쌓인 척박한 조건에서 생육하는 암극식물(岩隙植物, chasmophyte)이다.

##### 2) 풍혈과 식물

풍혈은 한랭한 빙기의 기후조건에서 애추와 암괴원, 암괴류에 만들어진 자연유산으로 지난 최후빙기에 널리 분포했던 빙기 유존식물의 보금자리이다. 오늘날 한반도와 극지에 공통적으로 자라는 극지고산식물(極地高山植物, arctic-alpine plant)과 수직적으로 교목 또는 큰키나무가 자라는 상한계선(上限界線, upper limit)보다 높은 곳에 자라는 고산식물(高山植物, alpine plant)은 빙기의 유존식

물로 북한 북부, 남한 설악산, 지리산, 한라산 등 산정 일대 아고산대와 고산대에 격리되어 불연속적으로 분포한다.

극지고산식물과 고산식물은 신생대 제4기 플라이스토세 빙기에 혹독한 추위를 피해 극지방 남쪽의 극지지역(周極地域, circumpolar region)의 북방에서 도래했던 빙기 유존군락으로 홀로세의 기온 상승에 따라 다른 식물들과의 경쟁에 밀려 지금은 북쪽이나 산정 쪽으로 밀려나 살아남은 유존종으로 땅의 자연환경 변천사를 복원하는데 필요한 귀중한 자연유산이다(공우석, 2002).

여름철에 애추나 암괴원 바위틈에서 차가운 공기가 스며 나오거나 결빙현상을 보이는 풍혈에는 한들고사리(*Cystopteris fragalis*), 두메고사리(*Athyrium crenatum*), 쯤미역고사리(*Polypodium virginianum*), 월굴, 푝지치(*Hackelia deflexa*) 등 북방계식물이 자란다(김진석 등, 2006). 이들은 빙기에 북방의 추위를 피해 한반도로 남하한 식물로 홀로세에 들어 기온이 온난해짐에 따라 기온이 서늘한 풍혈을 국지적인 피난처로 삼아 격리되어 분포한다.

### 3) 홍천 풍혈과 식물

강원도 홍천군 내면 방내리 응봉산(1,103m)과 맹현봉(1,214m) 사이 산록 해발고도 350m 일대에 길이 70m, 폭 30m 정도의 애추가 발달하는데, 애추의 말단면 북북서사면에는 여름에 시원한 바람이 불어나오고 겨울에 온난한 바람이 땅속으로부터 나오는 풍혈이 있다. 애추 아래쪽 가장자리이며 냉기류가 흘러나오는 풍혈 출구의 토양층이 발달하는 곳에 빙기 잔존식물을 포함한 북방계식물이 자란다.

홍천 풍혈 주위의 안정된 사면에는 극지고산식물인 월굴(*Vaccinium vitis-idaea*)과 함께 쉬땅나무(*Sorbaria sorbifolia* var. *stellipila*), 박달나무(*Betula schmidtii*), 귀룽나무(*Prunus padus*), 진달래(*Rhododendron mucronulatum*), 두메고사리(*Diplazium sibiricum*), 민둥인가목(*Rosa suavis*), 각시우드풀 또는 산우드풀(*Woodsia subcordata*), 요강나무(*Clematis fusca* var. *coreana*), 산새풀(*Calamagrostis langsdorfii*), 집사초(*Carex vaginata* var. *petersii*),

주저리고사리(*Dryopteris fragrans*) 등 아고산대에 자라는 식물들이 나타난다. 바위 위와 토양이 있는 곳에는 솔이끼(*Polytrichum commune*), 지의류, 고사리류가 섞여 자란다(공우석·임종환, 2008). 두메고사리와 민둥인가목은 일본의 풍혈에서도 자주 나타나는 종이다(Iokawa & Ishizawa, 2003). Nekola(1999)와 Iokawa & Ishizawa(2003)는 풍혈에 한대성식물이 격리 분포하는 것을 빙기 이후 오래된 피난처(palaeo-refugia)에 국소적인 기후지대에 살아남은 잔존식생으로 보았다(김진석 등, 2006에서 재인용).

홍천 풍혈에 자라는 월굴은 전형적인 상록활엽성 관목성 극지고산식물로 빙기의 유존종이며 북극권에 주로 자란다. 한반도에서의 분포지는 북한의 고산대와 아고산대, 남한의 설악산 해발고도 1,550~1,650m 암석지 등이다. 홍천 방내리 풍혈의 월굴은 세계적인 분포의 남한계선의 하나이며, 중위도 지방에서 수직적 분포의 하한계선으로 식물지리적인 가치가 매우 크다.

월굴은 한랭한 기후에 적응할 수 있는 외관형과 생리생태적 조건을 가져 빙기에 남쪽까지 분포역을 넓혔으나 홀로세에 들어 기후가 온난해지면서 생리적 스트레스와 다른 식물과의 경쟁에 밀려 지금은 한반도에서는 고산대와 아고산대에 격리되어 분포한다. 극지나 고산대가 아닌 저지인 홍천 방내리 풍혈에 월굴이 격리 분포하는 것은 여름에도 풍혈에서 찬바람이 나오게 되어 온도가 높지 않아 여름 고



그림 6. 홍천군 풍혈의 월굴

온에 민감한 월굴이 생육하기에 적절한 온도가 유지되기 때문이다(그림 6). 풍혈 가장자리의 낮은 여름 기온은 고온에서 생리적 스트레스를 받는 월굴이 생육하는데 적당한 미기후를 형성하여 월굴이 격리 분포할 수 있게 하였다(공우석 · 임중환, 2008).

산림청은 월굴을 희귀식물 209호로 지정하였고(<http://www.nature.go.kr>), 홍천 방내리 풍혈에 분포하는 월굴의 자생지를 보전하기 위해 2005년 11월 '산림유전자원보호림'으로 지정, 고시하였다. 월굴을 포함한 극지고산식물과 고산식물은 지구온난화가 계속되면 기온 상승에 따른 생리생태적인 스트레스를 받아 쇠퇴하거나 온난한 기후에서 경쟁력을 갖는 온대성 식물과의 경쟁에 밀려 쇠퇴하거나, 멸종할 수 있는 취약종이다(공우석, 2005). 지구온난화가 빠르게 진행될 때 빙기의 추위를 피해 찾아들었던 월굴과 같은 극지고산식물이 당면하게 될 상황을 추정하고 월굴 군락지를 현지 내에서 효과적으로 보전할 수 있는 대책이 필요하다. 아울러 풍혈의 원리를 활용하여 북방계 식물을 현지 외에서 보전하는 기술 개발이 필요하다.

## V. 요약 및 결론

이 연구의 목적은 풍혈의 개념, 국내 주요 지리적 분포 현황과 환경 특성을 파악하여 풍혈 관련 공간 정보를 체계적으로 통합 관리하기 위한 것이다. 아울러 풍혈을 지구온난화에 취약한 북방계 빙기 잔존종의 잠재적인 보전지로서 식물지리적 가치를 분석하였다.

풍혈은 주빙하성 기후환경 아래 형성된 애추, 압괴원, 압괴류 등 암설 퇴적사면에서 미기상학적 현상에 의하여 여름철에는 찬 공기가 나오고 겨울이면 따뜻한 바람이 불어 나오는 국소적 저온환경지이다. 국내 9개 풍혈은 형태에 따라 애추형 풍혈, 동굴형 풍혈, 함몰형 풍혈 등 3개 유형으로 나눌 수 있다.

우리나라 풍혈은 사면이 급경사를 이루고 배후에 중생대 백악기층 등 오래된 기반암이 노출되어 있

으며, 산지와 평지가 만나는 경사급변점인 산록말 단면에 주로 발달한다. 풍혈은 방위상으로 북서 및 북서사면으로 일사량이 적고 기온의 교차가 적은 곳에 주로 나타난다. 풍혈지역의 식생은 한랭한 기후를 반영하는 산지 침엽수림이 주를 이루며, 대표적인 식물군집은 소나무 군락이다. 풍혈은 생태등급 1등급, 별도관리지역, 군사보호지역으로 지정되었으나, 등급 지정이 되지 않은 2곳은 보전 방안이 요구된다. 풍혈 주변은 주로 경작지와 관광지로 이용되고 있고 접근이 쉬워 풍혈의 원형과 미기상 현상을 유지하는데 부담을 줄 수 있으므로 토지이용에 적절한 제재가 필요하다. 풍혈이 발달하는 애추, 압괴원, 압괴류 등 지형경관의 원형을 보전하고 풍혈에 분포하는 식물을 보호하기 위해 풍혈 주위 일대를 보호지역으로 지정하고 보호 펜스를 설치하는 등 입체적이고 적극적인 보전 대책 수립이 요구된다.

홍천 방내리 풍혈의 월굴은 세계적인 분포의 남한 계선의 하나이며, 중위도 지방의 수직적 분포의 하한 계선으로 식물지리적인 가치가 매우 크며, 고기후와 고생태 변화 등 한반도의 자연사(自然史, natural history)를 복원하는데 중요한 자연유산이다.

홍천의 월굴은 풍혈이 제공하는 낮은 여름 기온과 춥지 않은 겨울 기온 등 독특한 기후환경에 적응하여 살아남은 빙기 유존종이다. 홍천 풍혈의 낮은 산등성이에 월굴이 자라는 것은 풍혈의 바위틈에서 찬바람이 나와 여름에도 낮은 기온이 유지되고 토양층이 발달하기 때문이다. 그러나 지구온난화에 따른 기온 상승과 함께 주변 식생의 천이, 지역의 토지이용 변화에 따라 국지적인 환경변화가 발생하면 생육에 부정적인 영향을 줄 수 있으므로 이에 대한 대비가 필요하다.

홍천 방내리 풍혈의 월굴을 보전하기 위해서는 풍혈 현상이 교란 받지 않도록 산 위쪽 애추 일대부터 풍혈 출구 일대까지를 보존하여야 한다. 풍혈 일대를 보전하기 위해서는 풍혈이 나타나는 곳을 핵심지역(核心地域, core zone)으로, 주위를 완충지역(緩衝地域, buffer zone)으로 정하고, 주변을 전이지역(轉移地域, transitional zone)으로 지정하

여 환경과 경관을 입체적으로 관리해야 한다.

월굴이 자라는 주변의 다른 관목류나 인근에 식재되어 있는 낙엽송과의 관계는 지속적인 관찰을 통해 필요하면 관리해야 한다. 월굴 자생지인 풍혈 주변의 토지이용 변화를 관찰하여 대응방안을 마련해야 하며, 풍혈 주변 월굴 자생지 부근에서의 채소 재배, 농약 살포 등을 최소화하여 서식지를 보전해야 한다. 동시에 풍혈과 월굴 군락이 갖는 자연생태적 가치를 교육하여 주민들이 보전에 동참하도록 유도해야 한다.

우리나라에서 풍혈이 나타날 가능성이 있는 애추, 암괴원, 암괴류에 대한 체계적인 조사를 실시하여 이들 경관과 생태계의 가치를 제고하는 것이 필요하다. 기후변화 취약 산림식물종의 피난처로 인식되고 있는 풍혈에 대한 식물지리적 특성에 대한 연구는 기후변화에 취약한 식물들의 현지 내 보전 방안 수립과 인공보전원 설치에 풍혈의 원리를 이용하는 등 현지 외 보전을 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

## 사 사

이 연구는 산림청 국립수목원의 2010년 위탁연구과제인 “한반도 풍혈지역의 분포와 특성조사”에 의하여 수행된 결과의 일부이다.

## 참고문헌

- 공우석, 2002, 한반도 고산식물의 구성과 분포, 대한지리학회지, 37(4), 357-370.
- 공우석, 2005, 지구온난화에 취약한 지표식물 선정, 한국기상학회지, 41(2-1), 263-273.
- 공우석·임종환, 2008, 극지고산식물 월굴의 격리 분포와 기온요인, 대한지리학회지, 43(4), 495-510.
- 공우석·이슬기·윤광희·박희나, 2010, 한반도 풍혈지역의 분포 및 특성조사, 국립수목원 위탁과제보고서.
- 김성삼, 1968, 얼음골(밀양군)의 하계결빙현상에 관한 고찰, 한국기상학회지, 4(1), 13-18.
- 김진석·정재민·이병천·박재홍, 2006, 한반도 풍혈지의 종조성과 식물지리학적 중요성, 한국식물분류학회지, 36(1), 61-89.
- 문승의·황수진, 1977, 밀양 어름골의 하계결빙현상에 관한 연구, 부산대학교 사대논문집, 4, 47-57.
- 배상근, 1990, 얼음골 하계 결빙현상에 관한 수문학적 연구, 한국수문학회지, 23(4), 459-466.
- 변희룡, 2003, 얼음골의 동계온풍과 하계결빙에 연관된 지하대류, 대기, 13(1), 230-233.
- 변희룡·최기선·김기훈·田中博, 2004, 재약산 얼음골에 나타난 온혈의 특징과 열적기구, 한국기상학회지, 40(4), 29-40.
- 이종호, 2004, 밀양 얼음골의 비밀, 국정브리핑, 2004. 07. 24.
- 장광수, 1989, 충북 제원군 금수산 얼음골 하계결빙현상에 관한 연구, 공주사범대학 대학원 석사학위논문, 33pp.
- 전병일, 2002, 강원도 정선군 운치리 얼음골의 여름철 결빙현상에 관한 연구, 한국환경과학회지, 11, 857-863.
- 정창희, 1992, 밀양 남명리 얼음골(천연기념물 제224호)의 조사 연구, 천연기념물 및 공룡 발자국 화석류 조사보고서, 대한지질학회, 61-84.
- 황수진·서광수·이순환, 2005, 밀양 어름골의 결빙형성기구에 관한 고찰, 한국기상학회지, 41, 29-40.
- 田中博, 1997, 韓國密陽郡のICE VALLEY における夏季氷結現象の數値實驗, 地理學評論, 70(A-1), 1-14.
- Bae, S.K. and I. Kayane, 1986, Hydrological study of Ice Valley, Korea, Annual Report of Institute of Geoscience, University of Tsukuba, 12, 15-20.
- Byun, H.R., Tanaka, H.L. and D. Azzaya, 2006, On the mysteries of summer icing and

- winter warming in the Ice Valley at Miryang, Korea, Proc. of the 2nd Intl. Works. on ice caves, Demaanovskaa Dolina, 2006, pp. 82-86.
- Hwang, S.J. and S.E. Moon, 1981, On the summertime ice formation at Ice Valley in Milyang, Korea, Abstracts in Spring Conference, Geographical Soc. Japan, 19, 218-219.
- Iokawa, Y. and S. Ishizawa, 2003, Vascular plants of wind-hole areas in Japan (1), Jour. Phytogeogr. Taxon, 51, 13-26.
- Nekola, J.C., 1999, Palaeoreugia and neoreugia: the influence of colonization history on community pattern and process, Ecology, 80, 2459-2473.
- Nohara, D., Nura, N. and H.L. Tanaka, 2002, Warm wind hole at Nakayama, Tenki, 49, 745-746,
- Song, T.H., 1994, Numerical simulation of seasonal convection in an inclined talus, Proceedings of the 10th International Transfer Conference, 2, Brighton, U.K., 455-469.
- Tanaka, H.L., 1995, Mysterious ice valley in Korea where ice grows during the hottest season, Tenki, 42, 647-649 (in Japanese).
- Tanaka, H.L., 1997, A numerical simulation of summertime ice formation in the Ice Valley in Milyang, Korea. Geogr. Rev. Japan, 70A-1, 1-14 (in Japanese with English abstract).
- Tanaka, H.L., Moon, S.E. and Hwang, S.J., 1998, Mysterious ice valley in Korea where ice grows during the hottest season, Tenki, 45, No. 11 Color Pages, 3-4 (in Japanese).
- Tanaka, H.L., Moon, S.E. and Hwang, S.J., 1999, An observational study of summertime ice formation at the Ice Valley in Milyang, Korea. Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, 20, 33-51.
- Tanaka, H.L., Nohara, D. and M. Yokoi, 2000, Numerical simulation of wind hole circulation and summertime ice formation at Ice Valley in Korea and Nakayama in Fukushima, Japan, Jour. Meteor. Soc. Jap., 78, 611-630.
- Tanaka, H.L., Nohara, D. and H.R. Byun, 2006, Numerical simulation of wind hole circulation at Ice Valley in Korea using a simple 2D Model, Jour. Meteor. Soc. Jap., 84, 1073-1084.
- <http://egis.me.go.kr>
- <http://enc.daum.net/dic100>
- <http://korea.kr>
- <http://fgis.forest.go.kr>
- <http://geoinfo.kigam.re.kr>
- <http://100.naver.com>
- <http://www.nature.go.kr>
- <http://www.wamis.go.kr>