

한국의 하계 동결현상 분포지에 관한 지형학적 연구*

전 영 권**

한국에는 하계 동결현상이라는 특수기상이 나타나는 곳이 수 군데 존재한다. 특히 경남 밀양의 천황산 얼음골과 경북 의성 빙계계곡의 빙혈 그리고 경북 청송의 얼음골은 이러한 기상적 특성 때문에 관광지로 유명한 곳이다. 본 연구에서는 한국 하계 동결현상 3대 분포지로 볼 수 있는 상기의 지역들을 대상으로 기존의 미기상학적·수문학적 연구를 참고하여 지형학적·지질학적 측면에서 접근하여 다음의 연구결과를 얻었다. 첫째, 하계 동결현상 분포지에서 볼 수 있는 지형 및 지질적 특성은 두터운 거력 퇴적물로 구성된 애추사면의 존재, 일사량이 적은 북향사면이거나 또는 비교적 깊은 곡벽으로 둘러 쌓여 상대적으로 일사량이 적은 지역, 안산암 또는 유문암 등의 화산암질로 구성되는 거력 퇴적물의 특성 등이다. 둘째, 하계 동결현상을 야기시키는 시스템으로서 얼음골은 공기의 유통이 자유로운 공간이 많이 존재하며, 일부 공간은 매우 넓어 동굴을 형성하며 부분적으로 지하수계와 연결되어 있는 경우를 가정할 수 있다. 셋째, 하계 동결현상이 나타나기 위해서는 얼음골 내에 있는 지하수계의 부분적 동결이 필요하며, 이를 위해서는 두 가지의 가정이 요구된다. 하나는 외부로부터 얼음골로 유입된 공기의 기화열에 의한 지하수계의 급랭이며, 또 다른 하나는 지난 겨울 동안 동결된 지하수계가 특수한 지형적 영향으로 동결상태가 장기간 지속되어야 한다. 그러나 명확한 원인은 얼음골에 대한 시추작업을 통해서만이 가능할 것이다.

주요어 : 하계 동결현상, 얼음골, 애추사면, 기화열설

1. 연구목적

하계 동결현상이 나타나는 특수기상지역이 국내 여러 곳에 분포하고 있어서 매우 흥미롭다. 특히 경남 밀양의 천황산 얼음골, 경북 의성 빙계계곡의 빙혈, 경북 청송의 얼음골, 충북 제원의 금수산 얼음골, 경남 함양 지리산의 얼음골 등지는 하계 동결현상의 특수기상현상 때문에 여름 관광명소로 널리 알려진 곳이다. 이 밖에도 여름철에 동결의 정도는 아니더라도 돌 틈 사이에서 매우 차가운 바람이 불어나오는 풍혈지역¹⁾도 상당수 분포하는데 예를 들면, 경남 밀양 천황산 얼음골 주변의 풍혈지대, 경북 의성 빙계계곡 내의 풍혈, 전북 진안군 성

수면 좌포리의 풍혈과 냉천, 강원 정선군 북평면 북평 5리의 한골, 경기 연천군 연천읍 동막리의 풍혈 등지가 여기에 해당된다. 그러나 이처럼 신비로운 기상현상이 나타나는 곳이 국내에 잘 발달함에도 불구하고 이와 관련하여 연구된 논문은 수 편에 불과하다. 또한 그나마도 충북 제원의 금수산 얼음골을 대상으로 한 1편의 연구 외에는 모두가 경남 밀양 얼음골을 연구대상으로 한 논문들이다.

이 분야에 대한 국내 연구는 수문학적 또는 미기상학적 측면에서 연구된 경우가 수 편 존재할 뿐 지형학·지질학적 측면에서 접근한 경우는 없다. 다만 하계 동결현상이 나타나는 지역에서의 애추사면에 관한 연구는 몇 편 있다(전영권, 1996·1997·

* 본 연구는 1999년도 대구효성가톨릭대학교 학술연구조성비 지원에 의한 것임

** 대구가톨릭대학교 사범대학 지리교육과 조교수

1998). 수문학적 또는 미기상학적인 방법에 의한 연구는 이론 전개의 계량화에는 용이성을 추구할 수 있을 것이다. 그러나 얼음골의 내부구조와 지형 및 지질적 특성 분석에 대한 소홀함은 그것의 계량적 분석에도 불구하고 하계 결빙현상에 대한 근본적인 원인 규명에는 많은 무리가 따른다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구가 특정 지역만을 대상으로 한 연구에서 야기될 수 있는 객관성의 결여와 얼음골의 내부구조 그리고 지형학·지질학적 특성의 소홀함에서 비롯되는 하계 결빙의 근본적인 원인 규명의 미흡성을 줄이기 위해서 가능한 한 여러 지역을 연구대상지역으로 선정하였다. 본 연구에서는 우리나라 3대 하계 동결현상지역으로 유명한 경남 밀양의 얼음골과 경북 의성 빙계계곡 그리고 경북 청송의 얼음골에 대해서 지형·지질학적인 측면에서 접근하고자 한다. 이러한 접근방법은 기존의 수문학적·미기상학적 접근방법에서 규명된 연구결과에 지형 및 지질적 특성에 대한 분석결과를 추가한다면 하계 동결현상에 관한 종합적인 분석이 가능함으로써 한국의 하계 결빙현상을 효과적으로 설명할 수 있을 것이다.

2. 연구방법

하계 동결현상지에 대한 분포적 특성과 동결지의 핵심지인 얼음골의 기능을 규명하기 위해서 아래의 3가지 방법론에서 접근하였다.

첫째, 하계 동결현상지의 분포적 특성을 밝히기 위해서 수계, 사면향, 곡, 기반지질의 특성 분석

둘째, 얼음골의 개략적 내부구조를 파악하기 위해서 얼음골이 주로 발달하는 애추사면 시추결과 분석

셋째, 하계 동결현상지에 대한 기존의 수문학적·미기상학적 연구결과 분석 및 적용

3. 연구지역 개관

1) 밀양 얼음골

경남 밀양시 산내면 남명리 천황산(1189.2m)-능동산(982m) 능선 북사면에 해발고도 350~700m에 걸쳐 발달하는 20여 개 이상의 애추사면과 이들을 둘러싸는 비고 50m 이상의 급애면으로 구성되는 비교적 규모가 큰 계곡이다(그림 1, 사진 1). 얼음골을 중심으로 나타나는 주변지역의 지형 및 지질적 특성을 개관해 보면 천황산 산정 일대 약 200여 만평이 사면경사 14° 내외의 비교적 완만한 고위평탄면의 지형적 특성을 보인다. 반면에 얼음골이 나타나는 천황산의 북사면은 산정으로부터 고도 약 700m까지는 사면경사가 30° 이상의 급사면과 수직의 급애면이 형성되어 있고, 고도 700~350m까지는 노출 기반암으로 둘러싸인 얼음골이 분포한다. 또 얼음골 아래쪽 사면은 사면경사 20° 내외의 완만한 사면을 유지하고 있어서 사면의 형태는 전체적으로凹형을 이룬다.

사면의 형태를 결정짓는 요소에는 여러 가지가 있지만 본 지역에서 볼 수 있는凹형 사면은 기반지질의 침식 저항력 차이에서 연유된다. 즉 급경사를 보이는 상부사면은 안산암계열인 반면에 완사면인 하부사면은 화강암계열로 구성되어 있다.

특히 밀양의 얼음골에서 가장 뚜렷한 지형적 특성은 곡저의 폭이 약 150m에 이르는 큰 계곡으로, 주변의 계곡이 수 m에 불과한 것과 비교하면 매우 대조적이다.

이것은 밀양 얼음골이 단순히 유수의 침식작용으로만 형성된 것으로 볼 수 없다는 것을 의미한다. 다시 말해서 본 계곡의 형성은 석영안산암의 관입 또는 분출에 의한 냉각·수축과정에서 현재의



사진 1. 밀양 얼음골 일대의 전경

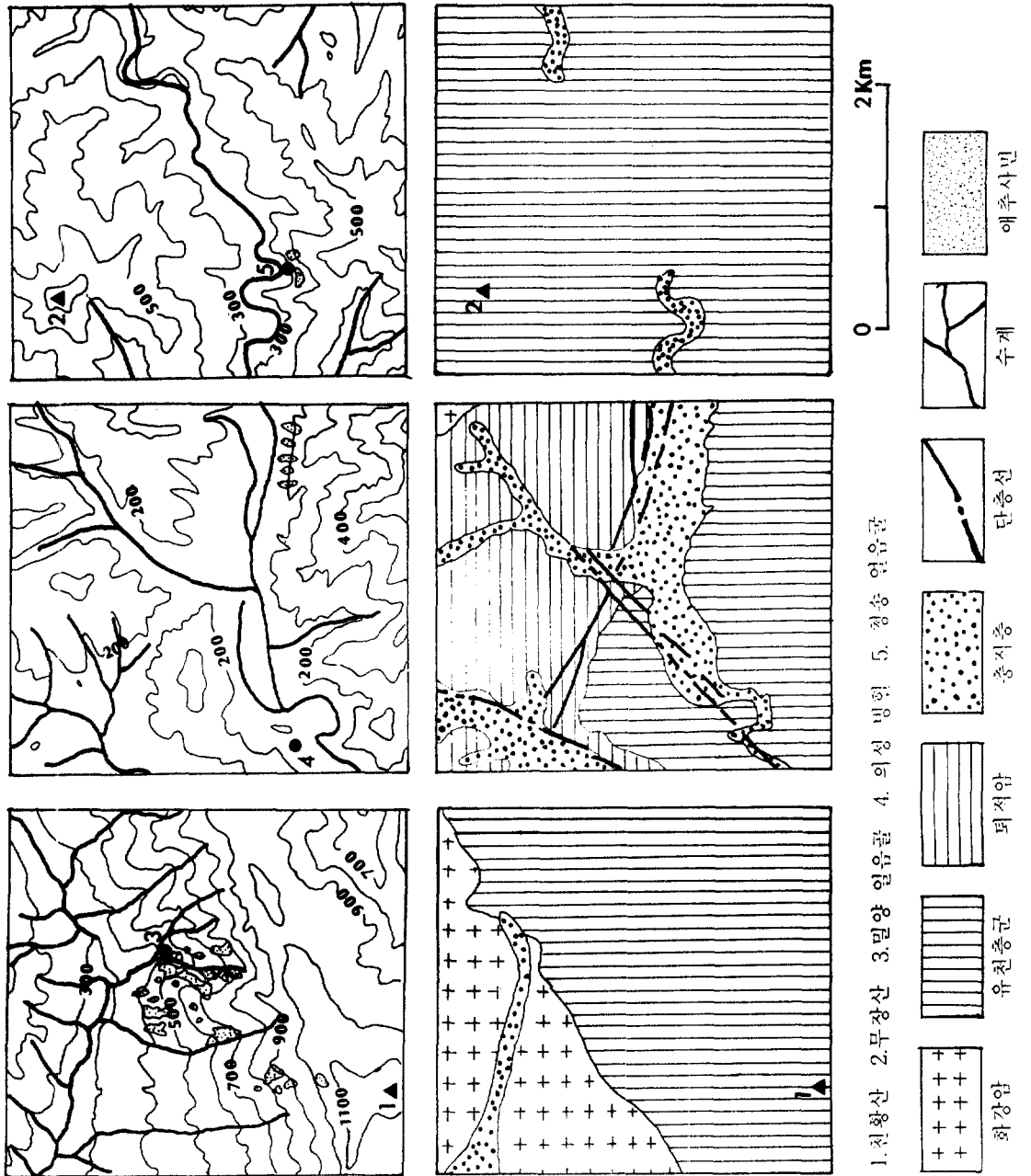


그림 1. 연구지역의 지형과 지질

한국의 하계 동결현상 분포지에 관한 지형학적 연구

얼음굴 일대가 국지적으로 함몰하여 형성된 일종의 함몰지형이며, 함몰되지 않은 주변부는 얼음굴을 둘러싸는 급애로 남게 되었을 것이다(전영권,1997). 바로 이러한 지형 및 지질적 특성이 본 지역의 또 다른 지형적 특성인 애추사면을 발달시켰다.

2) 의성 빙계계곡의 빙혈

경북 의성군 춘산면 빙계리에 위치하는 빙혈은 고도 300여 m의 구룡성 산지의 남사면 기슭에 발달한다(그림 1, 사진 2). 전면에는 고도 500~800m에 달하는 높은 산지와 불과 30여 m 정도의 거리를 두고 있어서 일사량이 매우 적다. 빙혈은 빙계계곡 내에 발달하고 있는데, 본 계곡은 단층선상에 발달한 일종의 횡곡으로 인정된다(전영권,1998). 따라서 빙계계곡은 계곡의 높이에 비해서 곡의 폭이 좁은 협곡이다. 빙혈이 발달하는 주변에는 풍혈도 함께 발달하고 있는데, 본 지역을 구성하는 주된 기반암은 유문암 또는 안산암이다. 빙혈이 있는 구룡성 산지사면에는 지난 최종빙기의 주빙하기후 환경에서 형성된 거력들이 산재하고 있으며, 빙혈이나 풍혈들은 바로 이러한 거력들이 집적된 곳에서 발달하고 있다(사진 3). 그러나 빙혈이 발달하는 구룡성 산지의 맞은편 산지의 사면에는 하계 동결현상이 나타나지 않으며, 이러한 곳에는 애추사면이 발달하지 않는다.



사진 2. 의성 빙계계곡 일대 전경

3) 청송 얼음굴



사진 3. 의성 빙계계곡내의 빙혈과 풍혈
(빙혈 왼편에 있는 거력들이 풍혈이며 거력들 틈 사이로는 한여름에도 차가운 바람이 불어 나온다.)

경북 청송군 부동면 향동 511.1m 고지 - 607m 고지 - 660m 고지를 잇는 능선(경북 청송군 부동면과 경북 영일군 죽장면을 경계짓는 능선)의 북사면상 고도 300m 내외에 걸쳐서 위치한다(그림 1, 사진 4). 본 지역에서 하계 동결현상이 나타나는 곳은 계곡이 아니라 애추사면과 연속된 사면(과거에 거력으로 구성되었던 애추사면이 현재는 식생으로 피복되어 나타남)의 하부에 있는 거력들 간의 틈이어서 엄밀하게 말하면 얼음굴이라고 부르기보다는 얼음굴로 부르는 것이 좋을 듯하다. 따라서 본 논문에서는 청송의 얼음굴을 얼음굴(경북 의성 빙계계곡의 빙혈과 유사함)로 부르기로 한다(사진 5).

청송의 얼음굴 역시 상기의 두 지역과 동일하게 거력층 심부로부터 거력들의 틈 사이로 불어나오는 차가운 바람에 의해서 얼음이 형성된다. 애추사면의 구성거력들은 안산암이며, 한여름에는 피복 애추사면을 중심으로 그 일대 대부분에서 얼음이 형성된다. 얼음굴 전면에는 경북 영덕군 강구면 강구동에서 동해로 유입하는 오십천의 지류인 4차수 감입곡류천이 동류(東流)하며, 하천을 경계로 마주하는 무장산(霧藏山: 640.8m)은 본 얼음굴과는 불과 30m 내외의 간격을 유지하고 있어서 얼음굴 일대는 일사량이 매우 적을 수밖에 없다. 무장산 또는 무포산(霧抱山: 716.7m) 등 주변에 분포하는 산지 이름에서도 알 수 있듯이 안개가 본 계곡 근처에서 자주 형성될 뿐만 아니라 안개가 일단 발생하면 잘 사라지지 않는 것도 이곳에 하계 동결현상이라는

국지적 특수기상과 무관하지 않은 것 같다.



사진 4. 청송 얼음굴 일대의 전경
(얼음굴 주변에 굽어면과 애추사면이 발달한다.)

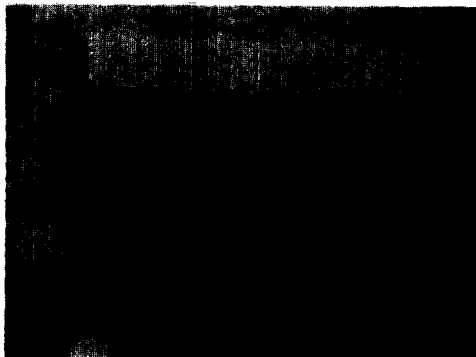


사진 5. 청송 얼음굴의 내부

4. 하계 동결현상 분포지의 지형학·지질학적 특성

하계 동결현상이 나타나는 본 연구지역들은 다른 지역과는 특이한 지형과 지질적 특성을 보이며, 이러한 특성들이 하계 동결현상과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 단원에서는 이러한 지형 및 지질적 특성을 하계 동결현상과 관련하여 설명하고자 한다.

1) 애추사면

하계 동결현상을 야기시키는 가장 주된 요인으로서 애추사면을 들 수 있다. 연구대상 3지역에서

공통되는 지형적 특성이 애추사면이라는 것은 주지한 바와 같다. 지난 최종빙기 동안 한반도는 주빙하적 기후환경이었으며, 이러한 기후 환경하에서 가장 일반적인 지표로 거론되는 지형으로서 애추사면을 들 수 있다. 즉 애추사면을 구성하는 두터운 거력 퇴적층은 그 내부를 외기로부터 차단시켜 주는 단열기능을 제공해주며, 거력들 간에 존재하는 틈은 공기의 유통을 원활하게 해준다. 또 구성 거력들은 화산암계통의 안산암과 유문암으로 구성되어 있다. 경남 밀양 얼음굴의 경우 계곡의 규모는 주변의 계곡에 비해서 폭이 넓고 깊다. 현재 천연기념물 제224호로 지정되어 보존되고 있는 얼음굴은 실제로는 얼음굴 내 거력들 사이의 틈에 불과해서 얼음굴 보다는 얼음굴이라는 표현이 더 어울린다(사진 6). 그러나 본 얼음굴 내에는 이러한 규모의 또 다른 얼음굴이 몇 군데 더 분포하고 있어서

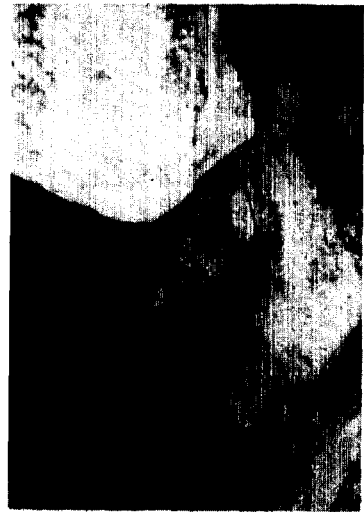


사진 6. 천연기념물 제224호로 지정된 밀양 얼음굴 내의 얼음굴
(7월 한여름에도 불구하고 고드름이 맺혀 있다.)

얼음굴 일대가 한 여름에도 시원하다. 여름에 얼음이 형성되는 곳은 얼음굴 내에서도 다양하다. 예를 들면, 천연기념물로 지정되어 보호받는 얼음굴은 외양상으로는 거력들 사이의 틈 사이에 얼음이 형성되는 반면에, 보다 상부에 위치하는 얼음굴은 거력 퇴적층의 단면이 노출되어 있는 곳으로서 이 부분은 거력 퇴적층 아래에는 거력과 세립물질이 혼

합되어 있으며, 얼음은 상부의 거력 퇴적층 표면이 아닌 거력층 단면에서 형성되고 있다. 또 청송의 얼음굴은 거력들 사이의 틈 사이에서 형성되는 경우와 얼음굴 옆에 위치하는 사면(거력과 세립물질이 혼재되며 이러한 곳에서는 식생이 분포)에서도 땅을 파보면 얼음 알갱이들이 나타난다(사진 7). 이러한 경우는 의성 빙계계곡을 따라서 흐르는 하천인 쌍계천의 남쪽에 위치하는 북두산(593m) - 북두산(500m) 능선의 북사면에 발달하는 애추사면(빙계계곡 내의 빙혈로부터 동쪽으로 약 3km 지점에 위치함)내에서도 나타난다(사진 8).²⁾ 따라서 얼음이

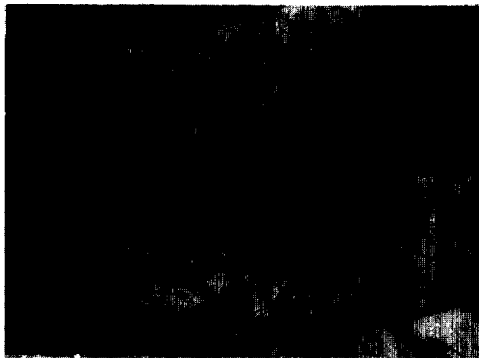


사진 7. 청송 얼음굴 옆에 위치한 식생 피복 애추사면 (식생 아래에는 거력들이 분포하며 낙엽 밑에는 거력들 간의 틈에 의해서 형성된 공간이 보여진다. 이러한 곳에서도 한여름에 얼음 알갱이들이 보인다.)



사진 8. 의성 빙계계곡의 빙혈로부터 동편으로 약 3km 떨어진 곳에 위치하는 애추사면 (본 애추사면 일대에서 4~5월경에 얼음 알갱이들이 보여진다.)

형성될 수 있는 가능성은 거력 퇴적층 내의 내부구조와 깊은 관련이 있을 것으로 판단된다.

2) 수계 · 곡 · 사면향의 특성

연구지역 3 곳 모두가 계곡 내에 발달한다. 밀양 얼음굴의 경우 곡의 규모는 대규모로 발달하고 있다. 얼음굴에서 유출된 물은 밀양강의 지류인 산내천으로 유입하며, 빙혈이 있는 의성 빙계계곡은 깊고 좁은 협곡을 형성하는데, 본 계곡에는 위천의 지류인 쌍계천이 감입곡류의 특성을 보이면서 서류(西流)한다. 또 청송의 얼음굴 역시 오십천의 지류이면서 서대천의 상류에 해당하는 부분이 감입곡류의 특성을 보이면서 동류(東流)한다. 그러나 3 지역 모두가 계곡 내에서 발달하지만 하계 동결현상이 나타나는 곳은 지표면 수계와는 직접적인 관련이 없다. 그리고 얼음굴들은 비교적 높은 곡벽으로 사방이 가리워진 계곡 내에 존재하고 있어서 일사량이 매우 적다. 따라서 얼음굴이 있는 계곡 내부는 외부와는 상이한 기상적 특성을 보인다. 얼음굴이 분포하는 사면향의 경우 밀양 얼음굴과 청송 얼음굴의 경우 북사면상인 반면에, 의성 빙혈의 경우는 남사면상이다. 그러나 비록 남사면상에 발달하지만 빙계계곡은 협곡이어서 맞은 편에 있는 산지에 의해 거의 막혀 있어서 북사면상에 발달하는 다른 두 지역과 마찬가지로 일사량은 매우 적다. 즉 이러한 지형적 조건에서 야기되는 국지적 특수 기상은 하계 동결현상에 큰 영향을 준다.

3) 얼음굴 내부구조의 추정

하계 동결현상을 야기시키는 원인을 찾아낼 수 있는 가장 효과적인 방법은 얼음굴의 내부구조에 대한 분석이다. 본 연구에서는 국내에서 볼 수 있는 얼음굴들이 천연기념물이 아니면 지역의 주요 관광자원으로 설정되어 있어서 얼음굴의 내부구조를 파악하기 위해 직접적인 시추를 한다는 것은 불가능하다. 그러나 연구자는 다행스럽게도 얼음굴의 내부구조를 추정할 수 있는 두 가지의 자료를 확보했다. 그 중 하나는 경남 밀양 얼음굴 인근에 분포하는 애추사면에서 밝혀진 애추사면 주상도와(현대

건설주식회사, 2000) 또 다른 하나는 연구자의 지난 연구(전영권, 1998)에서 밝혀낸 애추사면의 내부구조이다(사진 9). 상기의 자료들을 분석한 결과에 의하면, 애추사면은 대체로 3가지 퇴적층으로 분류되는데, 상부층인 순수 거력 퇴적층은 그것의 두께가 약 1~5m 정도이며, 본 층에서는 거력들이 하부로 갈수록 입경이 작아진다. 중간층은 거력과 세립물질이 혼재되어 나타나는데 두께가 1~15m 정도이다. 하층은 세립물질층(유기물 내재)으로 나타나는데 어떤 경우에는 극소수의 거력이 보여지기도 한다. 특히 애추사면 주상도에 의하면 보통 거력 퇴적층 후가 15m 내외를 보이는 경우에는 주변의 지하수위가 약 13~18m 정도를 보이고 있다. 결국 얼음굴 역시 애추사면과 어떤 형태로든 깊은 관련성을 가지고 있다는 것을 생각할 때 얼음굴의 내부구조는 다음과 같이 추정해 볼 수 있다. 첫째, 얼음굴은 매우 두터운 거력 퇴적층후를 가진다. 둘째, 거력 퇴적층 내에 존재하는 거력들 사이에는 공기의 유통이 자유로운 공간이 많이 존재하며, 어떤 곳에는 그러한 공간이 매우 넓어 동굴을 형성할 수도 있다. 또한 이러한 동굴성 공간은 어떤 형태로든 지하 수계와 연결되어 있다.



사진 9. 사진 8에서 보여지는 애추사면 내에서의 거력 퇴적층 내부구조

5. 하계 동결현상 분포지의 수문학적·미기상학적 특성

하계 동결현상지를 대상으로 현재까지 밝혀진 수문학적·미기상학적 분석은 다음과 같이 몇 가지

로 정리할 수 있다. 먼저 얼음골의 하계 결빙현상에 관해서 배상근(1990)은 수문학적인 관점에서 수치실험을 통하여 얼음골의 하계 결빙지점에 형성되는 수온역전현상은 지하수에 의한 이류 및 열전도로 인하여 나타나는 온도 지체현상에서 비롯된다고 보았다.

미기상학적인 측면에 있어서는 김성삼(1968)의 경우 얼음골의 하계 결빙현상에 관하여 얼음굴 내부구조의 지형적 특성과 단열냉각의 원리를 이용하여 설명하고 있다. 특히 그는 얼음은 대기중의 수분이 저온인 바위표면에 응결하여 이슬이 된 것이 결빙한 결과이며, 저온의 바위를 형성하는데는 지하수의 급격한 흐름도 한 이유라고 보고 있다.

문승의·황수진(1977)은 밀양 얼음골의 기상현상에 대해서 얼음골은 지형 특성상 일사량이 매우 적고 단열효과가 탁월해서 겨울철에 형성된 찬 공기가 여름까지 계속 주위에 정체하는 상태에서 암반 아래의 지하수가 지표 내외의 급격한 습도차에 의해 증발되는 동시에 주변의 열을 빼앗아 얼음이 형성된다는 기화열설을 주장하고 있다. 이 밖에 일본의 경우 풍혈에 관한 수 편의 연구에서 풍혈의 원인을 동굴 내·외에서 발생하는 온도와 습도의 차이로 인한 공기 흐름의 계절적 변화로부터 찾고 있는 경우(江川良武 등, 1980), 겨울에 얼었던 얼음이 초여름까지 남아 있어서 여름에도 냉기가 유지된다는 경우(志保井利夫, 1974) 등이 있다. 또 그들은 풍혈의 주된 분포지로서 동계에 눈으로 덮여 있는 지역, 북사면에 위치한 지역, 애추사면과 같은 암설사면이 나타나는 지역 등으로 설명하고 있다.

6. 토의 및 문제점

지금까지 하계 동결현상 분포지의 지형학·지질학적 특성과 얼음골의 내부구조 추정 그리고 밀양 얼음골에 대한 기존의 수문학적·미기상학적 분석 결과에 대해서 살펴보았다. 그러나 기존의 수문학적·미기상학적 연구 결과로부터 몇 가지의 오류를 확인할 수 있었으며, 또한 일부 이론에는 동의하기 힘든 부분도 있다. 우선 얼음골의 지하수원이 천황산 정상 고위평탄면에서 유출되는 지하수로 보는

것이나, 얼음골을 에워싸는 삼면이 절벽에 가까운 북향사면이어서 태양열의 유입이 매우 적다는 사실, 그리고 두터운 거력 퇴적층으로 구성된 애추사면의 존재와 거력들 사이의 틈이 하계 동결현상을 야기시키는 원인이 된다는 이론에는 동의한다. 즉 이러한 지형학·지질학적 특성과 수문학적 특성으로부터 연유되는 국지적인 미기상학적 특성(기화설과 겨울에 얼었던 얼음이 초여름까지 남아 있어서 여름에도 동결현상이 가능하다는 설)이 하계 동결이라는 특수기상을 초래한다는 이론에는 동의한다. 그러나 하계 동결현상의 원인을 지하수의 급격한 흐름으로 보는 견해와 얼음골 내부구조의 설명에 있어서 심도 증가에 따른 거력 크기의 증가 그리고 현재 기후에서도 애추사면이 형성된다는 설명(김성삼, 1968)은 잘못된 분석으로 판단된다. 하계 동결현상의 원인으로 기화설을 채택할 경우 지하수의 급격한 흐름보다는 거력들 틈 사이로 흐르는 공기 흐름의 급격함이 오히려 주요하다는 사실은 일반적인 이론이다. 즉, 빠른 공기의 흐름은 단열냉각으로 저온 상태의 지하수를 더욱 급랭시키므로 동결에 유리하다. 특히 얼음골의 내부구조와 현재 기후조건 아래에서의 애추사면 형성 주장은 잘못된 분석임이 몇몇 연구결과에서 입증되었다(전영권, 1997·1998; 현대건설주식회사, 2000). 이 밖에도 배상근(1990)은 하계 동결현상의 원인으로서는 지하수에 의한 이류 및 열전도로 인한 온도 지체 현상으로 보고 있으나, 얼음골 내부구조와 대수층의 특성에 대한 오판과 지나친 정량화 그리고 이론적 비약으로 그의 이론은 설득력이 약하다.

따라서 지금까지의 분석결과를 근거로 판단해 볼 때 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째, 하계 동결 현상이 나타날 수 있는 지역을 지형학·지질학적인 측면에서 보면 애추사면을 비롯한 두터운 거력 퇴적층으로 이루어진 암설사면(식생피복 암설사면 포함)이 존재하며, 이러한 거력 퇴적층은 비교적 높은 곡벽으로 둘러싸여 있어서 일사량이 매우 적고, 얼음골이 분포하는 사면향의 경우 주로 일사량이 적은 북사면상이다. 그리고 거력들의 암층은 안산암 또는 유문암 등의 화산암으로 구성되어 있다.

둘째, 하계 동결현상을 야기시키는 주된 지역인

얼음골의 내부구조는 거력의 두터운 퇴적층으로 구성되어 외기와외의 차폐효과가 지속적으로 가능하며, 거력층 내부는 크고 작은 공간의 존재로 공기 유통이 원활할 뿐만 아니라 지하의 동굴성 공간과 연계되어 지하의 수계와 유기적으로 연결된다.

셋째, 하계 동결현상의 프로세스는 하계에 사면 상부의 고온습윤한 공기가 거력층의 공극 사이를 통하여 얼음골 내부로 유입된다. 이 때 얼음골 내부는 외부와의 단절로 인하여 냉각되어 있는 상태이며, 이런 조건에서 외부에서 유입된 공기는 거력들 사이의 좁은 공간을 통과하는 과정에서 압력의 증가로 인하여 속도가 가해진다. 가속화된 공기는 지하 심층에 있는 저온의 수계(부분적으로 동결되어 있을 것으로 추정됨)를 거치는 동안 기화열로 인하여 급랭된다. 순간적으로 급랭된 유입공기는 밀도의 증가로 얼음골 내 하방으로 빠른 속도로 이동하여 얼음골 쪽으로 유출된다. 이 때 얼음골 내부로부터 유출된 매우 차가운 공기는 고온다습의 외기와 접촉하는 순간 상대포화습도량의 감소로 인하여 외기 중의 수분이 이슬로 응결되는 결로현상이 나타난다. 이 때 얼음골 외부와 내부와의 기온 차이가 많으면 많을수록 결로현상은 커지므로 얼음골 입구에서는 수분의 증가로 많은 양의 얼음이 형성된다. 즉 얼음골에서는 삼복더위 때 보다 많은 얼음이 형성될 수 있는 이유는 수분을 품은 외기의 상대적 저온화로 인한 상대포화습도량의 저하에서 비롯된 결과이다.

지금까지 국내 얼음골에서 나타나는 특수기상에 대해서 분포적 특성과 하계 동결현상을 야기시키는 메카니즘과 프로세스를 분석하여 보았다. 그러나 여전히 문제점으로 남는 것은 얼음골에서 하계 동결현상이 나타나려면 얼음골 내부에 존재하는 수계가 부분적이거나 동결된 상태를 유지하여야 할 것이다. 이러한 상황을 위해서는 다음 두 가지의 경우를 생각해 볼 수 있다. 그 중 하나는 얼음골로 유입된 외부 공기에 의한 기화열 현상으로 지하수계가 동결되는 경우이며, 또 다른 하나는 지난 겨울동안 동결되었던 얼음골 내의 지하수계가 늦게까지 동결된 상태로 있다가 5월경부터 융해되기 시작해서 8월경에 완전히 융해되는 지면현상에서 나타나는 경우이다. 그러나 본 연구에서는 이러한 두

가지 경우에 대해 구체적인 자료를 제시할 수 없었던 것이 한계라고 본다. 이러한 한계에 대한 명확한 해석은 얼음굴의 내부구조를 대상으로 하는 시추작업이 이루어지지 않고는 불가능하다.

7. 결론

한국에서 나타나는 하계 동결현상 분포지에 관한 지형학·지질학적 특성과 수문학·미기상학적 특성을 종합하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 하계 동결현상 분포지에 대한 지형학·지질학적 특성은 첫째, 애추사면과 같은 두터운 거력 퇴적층이 존재한다. 둘째, 거력 퇴적층은 비교적 높은 곡벽으로 둘러싸여 있어서 일사량이 매우 적고, 얼음굴이 분포하는 사면향의 경우 주로 일사량이 적은 북사면상인 경우이다. 셋째, 거력 퇴적층의 거력들이 안산암 또는 유문암 계통의 화산암으로 되어 있다.

2) 하계 동결현상을 야기시키는 지형시스템인 얼음굴은 그것의 내부구조가 다음과 같을 것으로 본다. 첫째, 얼음굴은 매우 두터운 거력 퇴적층으로 구성되어 외기와의 차폐효과가 지속적으로 가능하다. 둘째, 거력층 내부는 크고 작은 공간의 존재로 공기 유통이 원활할 뿐만 아니라 지하의 수계와 유기적으로 연결된다.

3) 하계 동결현상이 나타나기 위해서는 얼음굴 내에 있는 지하수계의 부분적 동결이 필요하다. 이러한 관점에서 볼 때 두 가지의 경우를 생각할 수 있다. 첫째, 외부로부터 얼음굴로 유입된 공기의 기화열에 의한 지하수계의 급랭 둘째, 지난 겨울동안 동결된 지하수계가 특수한 지형적 영향으로 늦게까지 동결되어 나타나는 현상 등이다. 그러나 어떠한 경우가 타당한지에 대한 해석은 얼음굴에 대한 시추작업을 통하지 않고는 현실적으로 불가능하다.

註

1) 풍혈지역은 한 여름에도 한기를 느낄 정도의 차가운 바람(풍혈 내부와 외부와의 기온 차이가 20℃ 이상

의 기온차가 나타남)이 불어 나오는 곳으로서 국내는 물론 미국, 일본 등지에서도 나타난다.

- 2) 경북 청송군 부동면 향리 얼음굴 내에 「수부정」이라는 가게를 운영하는 김상필씨는 얼음굴 바로 옆 식생 피복사면에서도 5월 말경부터 8월 말경까지 얼음 알갱이를 많이 볼 수 있다고 한다. 또한 경북 의성군 춘산면 빙계동에 거주하는 박영호씨(금성초등학교 교사)도 자신의 과수원 건너편에 위치한 애추사면에서도 4~5월경에 얼음 알갱이를 볼 수 있다고 한다.

文獻

- 김성삼, 1968, 얼음굴(밀양군) 하계 결빙현상에 관하여, 한국기상학회지, 4, 13~18.
- 배상근, 1990, 얼음굴의 하계 결빙현상에 관한 수문학적 연구, 한국수문학회지, 23(4), 459~466.
- 문승의·황수진, 1977, 밀양 얼음굴의 하계 결빙현상에 관한 연구, 부산대학교 자연과학 논문집, 4, 47~57.
- 장광수, 1989, 충북 제원군 금수산 얼음굴 하계 결빙현상에 관한 연구, 공주사범대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 전영권, 1996, 천황산 Talus의 형성과 지형발달, 한국지역지리학회지, 2(2), 173~182.
- 전영권, 1997, 경남 밀양 얼음굴 일대의 지형적 특성-Talus를 중심으로-, 한국지역지리학회지, 3(1), 165~182.
- 전영권, 1998, 의성 빙계계곡 일대의 지형적 특성-테일러스를 중심으로-, 한국지역지리학회지, 4(2).
- 최무웅, 1984, 전북 진양군 양화리의 냉천 약수 및 풍혈조사, 동굴, 9(10), 20~26.
- 현대건설주식회사, 2000, 산외-상북간 제3공구(능동터널) 국도확장공사 토질조사보고서.
- 江川良武·堀三郎·坂山利彦, 1980, 風穴の成因について-過去における低溫氣候起源說に對する反論-, 地學雜誌, 89(2), 1~12.
- 志保井利夫, 1974, 北海道常呂郡留邊しへ町温根湯つじ山の風穴について, 地學雜誌, 83(2), 25~28.
- Bae, S. K. & Kayane, I., 1986, Hydrological Study of Ice Valley, Korea, Ann. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, 12, 15~20.

A Geomorphological Study on the Distribution Areas of Freezing during Summer Season in Korea*

Young-Gweon Jeon**

Summary

There are a few interesting areas which show freezing during summer season in Korea, three of them are especially important. They are located at Milyang(Gyungnam province), Uisung and Chungsong(Gyungbook province). They are named Eoleumgol(ice-valley) or Binghyul(ice-cave).

The purpose of this study is to clarify geomorphological and geological characteristics about the distribution areas of freezing during summer season in Korea in relation to previous works, which have been studied in hydrological or micro-climatological viewpoints.

The main results are summarized as follows.

1) The main geomorphological and geological characteristics in the distribution areas of freezing during summer season

① Thick debris accumulated slope within deep valley

② North facing slope

③ The component debris of volcanic rock such as andesite or rhyolite

2) The ice-cave as a system that give rise to freezing phenomenon in summer season is closely related to talus slope. The ice-cave has thick accumulated debris and lots of vacant spaces within the rock deposits, some of vacant spaces are very big and connected with underground water system.

3) A partly freezing within underground water system is required freezing phenomenon in summer season. Judging from this point of view, two ideas are suggested; one is the evaporation theory, another is that the frozen condition in winter remains until late summer.

Key Words : freezing during summer season, ice-valley, talus slope, the evaporation theory

* This research was supported by the Catholic University of Taegu-Hyosung research grants in 1999

** Assistant Professor, Department of Geography Education, Catholic University of Daegu