

강원도 정선군 운치리 얼음골의 여름철 결빙현상에 관한 연구

전 병 일

신라대학교 바이오환경공학부

(2002년 3월 28일 접수; 2002년 9월 9일 채택)

On Study of Summertime Ice Formation in the Ice Valley at Unchiri, Gangwon-Province

Byung-II Jeon

Dept. of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

(Manuscript received 28 March, 2002; accepted 9 September, 2002)

The meteorological elements were measured to investigate cause of summertime ice formation at Unchiri, Gangwon Province. The cause of freezing at valley was conformed as adiabatic expansion theory, latent heat of evaporation, natural convective theory, cold air remain theory, and convective freezing theory according to former study. However nither theory produced a satisfactory explanation. This studying area is not valley but ridge, and underground water surface exists at below than freezing height. wintertime temperature drop and summertime cold air spouting were explain as natural convective theory, generation of water drop on the rock was explained as cooling theory by air expansion, and ice formation on the rock was explained as adiabatic expansion theory. In conclusion, formation of ice valley at Unchiri was formed by natural convective theory, adiabatic expansion theory, and latent heat of evaporation successively.

Key words : ice formation, adiabatic expansion theory, latent heat of evaporation, natural convective theory, cold air remain theory, convective freezing theory

1. 서 론

우리 나라의 몇몇 계곡에는 더운 여름일수록 얼음이 더 많이 얼고, 반대로 겨울이면 얼음이 녹아버리는 신비한 현상이 나타난다.¹⁾ 우리 나라 인근인 일본에도 후지산(富士山)의 산사면에 풍혈(風穴)이라 불리는 동혈(洞穴)이 있으나, 여름철뿐만 아니라 겨울에도 얼어 있어 우리 나라와는 다르다.^{2,3)} 즉 30℃에 가까운 외기에 노출된 사면중턱에 얼음이 노출되어 있고, 외기 온도가 높으면 높을수록 얼음은 더욱 성장하고, 반대로 장마 등으로 흐린 날이 계속 되면 얼음은 작아지거나 녹아버리는 밑을 수 없는 현상이 나타난다. 그리고 이러한 얼음도 가을부터 겨울에 걸쳐 소멸해 버린다. 우리 나라에서 여름철에 얼음이 얼거나 차가운 공기가 나오는 곳으로, 경남 밀양 얼음골, 경북 의성군 빙계계곡, 충북 제천

금수산 얼음골, 전북 진안군의 풍혈·냉천, 경기 연천군 풍혈, 충남 보령 냉풍육장, 경북 청송 얼음골, 경북 영덕 옥계계곡과 본 연구지역인 강원 정선군 운치리 얼음골 등이 있다. 이외에도 발견되지는 않았지만 지형적인 조건이 갖추어지고 너들이 많은 바위산에는 이와 같은 현상을 나타내는 곳이 많이 있을 것이라고 추측된다.

우리 나라의 여름철 결빙현상을 이해하기 위해서는 얼음골, 얼음굴, 풍혈, 빙혈 등 비슷비슷한 낱말에 대한 구별이 필요하다. 먼저, 얼음골(ice valley)은 연중 기온이 가장 높은 무더위 때에 얼음이 생기는 골짜기를 말하며, 대체로 얼음골의 지형은 특이하다. 암석으로 이루어진 산이 풍화에 의해 부서지면서 산기슭에 너덜(talus)을 형성하고 있는데, 이 너덜은 20~30cm 크기에서부터 1.5m까지의 화산암이 골짜기에 쌓여 이루어진 것이 보통이며, 이 너덜의 맨 밑에 얼음이 얼어 있다. 여름철 결빙현상을 나타내는 장소의 대부분이 얼음골의 형태로 구성되

Corresponding Author : Byung-II Jeon, Dept. of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea
Phone : +82-51-309-5056
E-mail : bjeon@silla.ac.kr

어 있고, 대부분의 연구는 이 형태(골짜기)를 대상으로 여름철 결빙현상의 원인을 찾으려고 하고 있다. 두 번째로 얼음굴(ice cave)은 비탈진 언덕지하에 생성된 동굴로 외부와 통하는 통로가 있을 때 생성된다. 겨울에는 차가운 공기가 굴 안으로 유입돼 굴 안을 식히면서 외부보다 아주 조금이나마 더운 내부공기가 부력으로 쉽게 굴 밖으로 나간다. 그런데 여름이 되면 밖의 온도는 높은 반면 굴 내부의 공기는 차갑고 밀도가 높아 안정하기 때문에 차가운 공기가 밖으로 유출되지 않고 그대로 굴 안에 머무르게 되며, 얼음굴은 여름이나 겨울이나 모두 차가운 현상이 나타난다. 이런 얼음굴은 전국 도처에 있으며 밀양의 얼음굴 근처에도 얼음굴이 있다. 동의보감을 지은 허준이 스승의 몸을 해부하고 시체를 저장했다고 전하는 곳이 바로 얼음굴이다. 풍혈(風穴: air hole)은 높은 산등성이나 산기슭에 있어 늘 시원한 바람이 불어 나오는 구멍이나 바위 틈을 말하고, 산의 사면 등지에서 잘 볼 수 있는데, 이 구멍과 통하는 구멍이 다른 곳에도 있으며, 마치 구부러진 굴뚝모양을 하고 있다. 지중온도는 연중 10~15℃로 거의 항온이므로 여름에는 풍혈 내의 공기가 외기보다 차서 공기가 불어 나오고, 겨울에는 연돌과 같은 작용으로 윗구멍으로부터 따뜻한 공기가 불어 나온다. 심한 곳에서는 한여름에도 얼음을 볼 수 있을 정도로 시원한 바람이 불어 나온다. 이러한 경우에는 풍혈이라 하지 않고 얼음굴이라고 부른다. 빙혈(氷穴)은 이 구멍에 얼음이 얼어 있으면서 바람이 불어 나오는 것을 말하고, 얼음굴이나 얼음굴이 있는 지형 아래에 흐르는 차가운 지하수가 드러난 곳을 냉천(冷泉)이라 하고 이 샘의 물은 광물질이 많이 들어 있고 위장병에 좋다는 설도 있다.⁴⁾

우리 나라 얼음굴의 하계 결빙현상에 관한 연구는 경남 밀양 얼음굴을 대상으로 한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 그 동안 밀양 얼음굴에 대한 결빙이론을 보면, 먼저 공기팽창(空氣膨脹)에 의한 냉각설(冷却說)로서, 압축된 공기가 지표로 올라오면서 온도가 내려간다는 이론으로 김성삼⁵⁾에 의해 제기되었다. 바위의 틈을 따라 낮은 온도의 포화상태에 이른 공기가 갑자기 따뜻하고 건조한 공기와 만날 때 급격한 팽창현상이 일어나 주위의 열을 빼앗아 감으로써 갑자기 온도가 내려가는 현상, 즉 단열팽창에 의한 단열냉각에 의해 바위를 차게 하고 0℃ 이하로 공기를 냉각한다는 것이다. 마치 에어컨의 찬바람이 따뜻한 대기 속으로 나올 때 에어컨 바람 구멍에 물방울이 맺히는 현상이라 할 수 있다. 둘째로 바위틈 아래쪽의 기화설(氣化說)로서, 일사량이 극히 적고 단열효과가 뛰어난 얼음굴의 지형특성상

겨울철에 형성된 찬공기가 여름까지 계속 주위에 머무는 상태에서 암반 밑의 지하수가 지표 안팎의 급격한 습도차에 의해 증발되면서 주변의 열을 빼앗아 얼음이 얼게 된다는 이론으로 너덜 하부에 지하수가 흘러가는 계곡에서 설명될 수 있다.⁶⁾ 셋째로 자연대류설(自然對流說)로서, 겨울부터 바위틈에 쌓인 영하의 찬 공기가 여름에 서서히 축적되면서 하부부터 얼음이 얼게 된다. 겨울이 되면 공기의 온도는 영하인 반면 너덜을 이루고 있는 돌들은 여름과 겨울을 지내면서 데워졌기 때문에 상온을 유지하고 있다. 그런데 공기의 부력 때문에 차가운 공기가 너덜의 하류부로 유입된다. 차가운 공기는 돌로부터 열을 빼앗아 데워지면서 너덜의 상부로 올라가고 돌은 너덜아래부터 점차로 차가워진다. 그래서 겨울이 끝날 때쯤이면 너덜의 온도를 외부의 온도와 같게 만든다. 그러다 계절이 바뀌어 초여름이 되면 겨울과는 반대의 조건이 된다. 즉 너덜 안의 공기는 차갑고 밖의 공기는 따뜻한 것이다. 이젠 겨울과는 반대로 차갑기 때문에 밀도가 높은 너덜 안의 공기가 너덜 밖으로 흘러나가고 너덜 상류부에서는 따뜻한 공기가 흘러 들어온다. 따뜻한 공기는 차가운 돌과 열교환을 하면서 점점 식기 때문에 공기가 얼음골로 계속 나오게 되지만 초가을이 되면 너덜이 따뜻한 공기로 모두 데워졌기 때문에 더 이상은 시원한 공기가 나오지 않는다. 이런 현상을 자연대류에 의해 겨울철의 냉열이 돌에 저장되어 있다가 방출되는 재생기 효과(regenerator effect)라고 한다.⁷⁾ 즉 온도의 변화에 취약한 화산암들이 다공성 축열조를 이루면서 겨울에는 냉기를 저장하고 여름에는 온기를 저장해 여름에는 겨울의 냉열을 내뿜고 겨울에는 온기를 뿜어내는 사이클을 반복하고 있는 것이다. 마지막으로 냉기체류설(冷氣滯留說)과 대류빙결설(對流水結說)로서, 겨울철에 약 -10℃의 냉기가 대류로 바위의 내부까지 중력류에 의해 자유롭게 흘러들어가고 바위를 냉각시켜 저온상태로 보존된다. 그것에 대해 여름철에는 상부의 바위들이 단열층의 역할을 하여 일사를 차단하고 성층상태가 매우 안정하기 때문에 난기가 바위의 속까지 들어가지가 어렵다. 따라서 여름이 되어도 온도는 올라가지 않고 지하수면 위쪽의 불포화층에서는 연평균 온도가 0℃이하로 내려가고 국소적으로 영구 동토가 형성될 수 있다.^{8,9)}

최근 여름철 얼음굴을 찾는 관광객이 증가함에 따라 얼음굴의 생성원인에 대한 궁금증이 확대되고, 무분별한 관광객의 내방으로 얼음굴이 마구 훼손되는 등 얼음굴을 올바르게 보존하려는 운동이 지방자치체별로 그 필요성을 인식하게 되었고, 관광자원

으로서 얼음골에 대한 관리대책이 시급히 요구되고 있다. 밀양 얼음골의 경우, 얼음이 얼었던 해와 얼지 않았던 해에 관광객의 수는 상당한 차이가 있었다고 한다.

얼음골에 대한 국내의 모든 연구가 경남 밀양 얼음골을 대상으로 한 연구이었다.^{5,6,10)} 그러나 우리나라는 이외에 밝혀지지 않은 얼음골을 포함해 수많은 얼음골이 전국에 산재하고 있으며, 위치와 장소도 위에서 제시한 결빙이론의 전제조건과 다른 지형적 조건을 가진 곳도 있다. 따라서 본 연구에서는 강원도 정선군 신동읍 운치리에 소재하는 얼음골을 대상으로 실제 기상관측을 통하여 여름철 결빙현상을 고찰하고 그 원인을 밝히고자 한다.

2. 연구지역의 지형적 특성

운치리 얼음골은 기암절벽과 맑은 물로 알려진 동강(東江)을 끼고 있는 강원도 정선군 신동읍에 있다(Fig. 1 참조). 얼음골의 북서쪽에는 백운산(882.5m)이 있으며 남서쪽에는 724.1m의 산이 있고 서쪽에는 곰봉(1,014.9m)이 있으며, 북쪽에는 754.2m의 산이 위치하고 있다. 운치리 얼음골의 해발고도는 400m정도이고 동남동(ESE)방향을 바라보는 산사면에 있으며, 그 사면 앞에는 724.1m의 산정에서 내려오는 산능선을 바라보게 된다. 너들의 크기는 1m 정도의 지름을 가졌으며, 너들과 너들 사이에 큰 공간이 생겨 있다. 밀양 얼음골의 경우, 북쪽을 바라보고 있으며, 가을, 겨울, 봄을 통하여 태양의 일사량이 없으므로 평지에 비해 기온과 지표온도가 매우 낮게 유지된다.⁶⁾ 그러나 운치리 얼음골은 밀양얼음골과는 달리 겨울 내내 햇볕이 내리쬐고, 여름에도 얼음이 어는 부분 바로 앞까지 햇빛이 들어오고 있다. 밀양 얼음골은 작은 너들이 부서져 큰 계곡

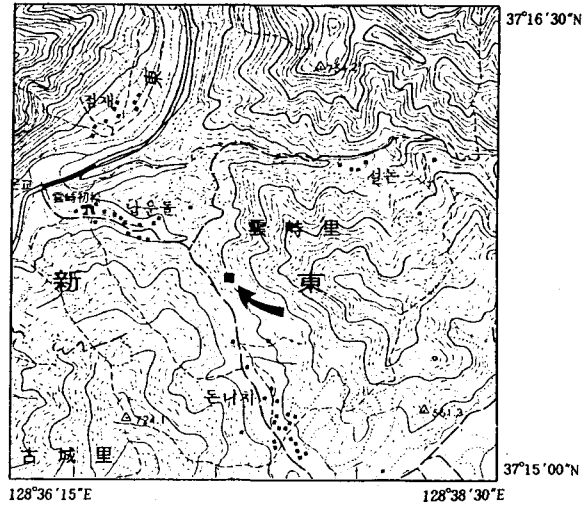


Fig. 1. Location of Ice Valley in Unchiri, Gangwon-province.

속에 형성되어 있으나, 운치리 얼음골은 큰 바위들이 풍화되는 과정에 있으며, 그 너덜들이 산 능선을 형성하고 있으며, 너덜사이에 얼음골이 형성되는 점이 밀양 얼음골과 지형적으로 다른 점이다. 따라서 밀양 얼음골 바로 하부에는 지하수가 흐르고 있지만 운치리 얼음골의 지하수면(포화수면)은 정확하게 측정할 자료는 없지만 현지에서 관찰한 바로는 매우 깊어 결빙현상에 지하수를 고려할 수 없다.

얼음골을 형성하는 암석은 대체로 1m정도의 크고 작은 바위(너들)들이 듬성듬성 엉켜 있고, 여름철에 바위틈 곳곳에서 찬공기가 불어 나오고 있다. 본 조사지점은 그 곳의 하부로서 바위틈사이에 사람이 겨우 들어갈 정도의 조그마한 골이 형성되어 있고 그 곳에서 얼음이 얼어 있다(Photo. 1 참조).

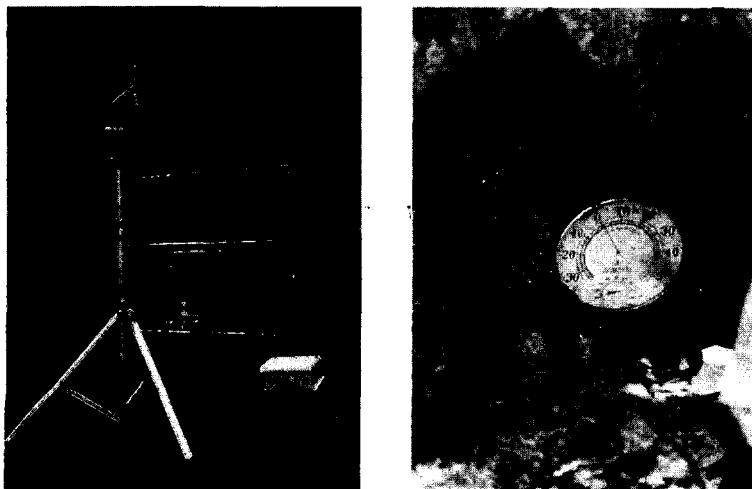


Photo. 1. Automation Weather Station(AWS) on front of Ice Valley(left), Ice and thermometer(right).

옛날 이곳 운치리 주민들은 여름철에 음식물을 보관하는 장소로 사용하기도 하였다. 입구에는 얼음골을 보호하기 철책이 쳐져 있어 사람은 들어 갈 수 없고, 밖에서만 얼음을 볼 수 있게 되어 있다. 운치리 얼음골은 최근 영월댐 건설로 인해 수몰될 위기에 처하였으나, 정부에 의해 댐건설이 백지화됨에 따라 얼음골을 계속하여 볼 수 있게 되었다. 이곳은 워낙 오지이기 때문에 지금도 아는 사람들만 찾는 곳으로 매우 잘 알려져 있지 않으며, 북더위에 언 얼음을 토종꿀에 재었다가 빈속에 먹으면 속병이 낫는다고 하는 이야기 전해진다.

3. 관측조사 및 방법

운치리 얼음골의 여름철 결빙현상을 조사하기 위해 자동기상관측장비(AWS)를 이용하여 얼음골 안과 밖의 기상요소를 측정하였다. Photo. 1에서 보는 바와 같이 얼음이 어는 곳에 온습도센서를 이용하여 기온과 상대습도를 측정하였으며, 철책에 풍속계를 설치하여 얼음골에서 불어나오는 공기의 풍속을 측정하였다. 또한 얼음이 어는 곳에서 5m 정도 떨어진 밖에서 1.5m 높이의 기온, 습도, 풍속을 측정하였다. 모든 기상요소는 1분 간격으로 측정하여 CR10X라는 data logger에 저장한 후 컴퓨터로 분석하였다. 관측은 1999년 7월 30일 10시 25분부터 13시 10분까지 1차로 실시하였으며, 2차는 2000년 1월 9일, 3차는 2000년 6월 25일 12시 30분부터 15시 50분까지 실시하였다. 1차 관측은 장마가 끝나고 고온다습한 북태평양고기압의 영향을 받는 시기였고, 2차 관측은 겨울철로 여름철과 어떤 차이가 있는지를 알아보기 위해서 실시하였는데, 자동기상관측장비를 이용한 관측은 실시하지 않았다. 3차 관측은 장마가 시작되기 전으로 한랭다습한 오호츠크고기압의 영향을 받는 시기였다.

4. 관측결과 및 고찰

4.1. 1999년 7월 30일의 관측

운치리 얼음골의 여름철 결빙현상을 조사하기 위해 1999년 7월 30일에 자동기상장비를 이용하여 얼음골 안과 밖의 기상요소를 관측하였다. 이날의 기상상태는 Fig. 2(a)의 일기도에서 보는 바와 같이 우리나라 중·남부지방은 고온다습한 북태평양고기압의 영향을 받고 있으며, 북부지방은 만주지방을 지나는 저기압의 영향을 받아 흐린 날씨를 나타내고 있었다. 운치리 얼음골과 가장 가까운 기상관측소인 영월관측소의 기상자료를 보면, 이날 최고기온은 30.0℃, 최저기온은 22.9℃이었고, 평균상대습도는 89%로 매우 무더운 날씨이었다. 7월 27일부터 30일 새벽까지 북부지방을 저기압의 영향으로 92.5mm의 강수량을 나타내었다. 따라서 관측당일은 장마기간 중 내린 비(6월의 강수량: 142.4mm)와 몇 일전의 비로 인해 얼음골의 얼음이 영향을 받았다고 할 수 있다. 그래서 인지 얼음골에는 5월 13일에 선명하게 얼어있던 얼음은 보이지 않았다. 그러나 결빙현상을 조사하기 위해서는 적당한 조건이라고 판단되어 10시 25분부터 13시 10분까지 약 3시간동안 관측하였다.

Fig. 3은 1999년 7월 30일 10시 25분부터 13시 10분까지 자동기상관측장비를 이용하여 관측한 얼음골의 안과 밖의 기온, 상대습도, 풍속이다. 먼저 기온의 경우, 얼음골 안의 기온은 2.3℃내외로서 거의 변화가 없는 균일한 분포를 나타내었으며, 얼음골 밖은 관측초기인 10시 30분의 23.6℃에서 12시경의 27.0℃의 분포를 나타내어, 얼음골 안과 밖의 기온 차이는 21.3~24.7℃를 나타내었다. 상대습도의 경우, 얼음골 안은 87%정도로 거의 균일한 분포를 나타내었으며, 얼음골 밖의 상대습도는 관측초기 92%로 가장 높았으며, 최고기온이 나타난 12시경에는

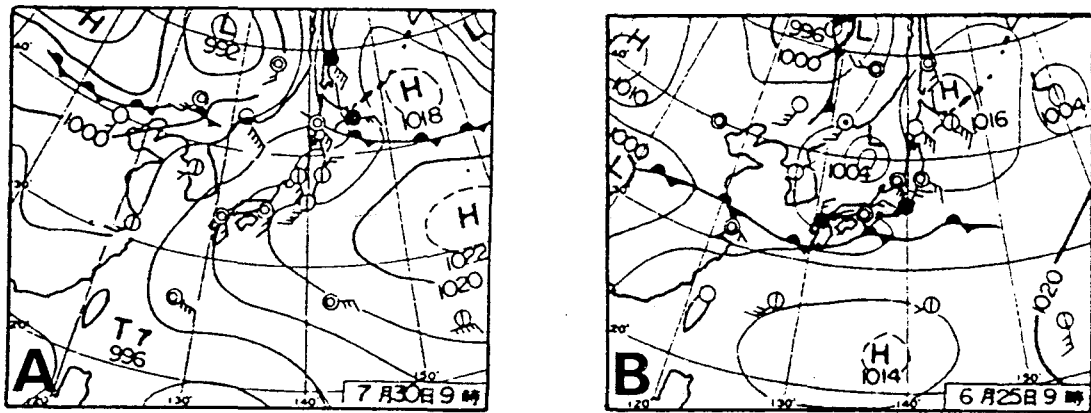


Fig. 2. Surface weather chart 0000UTC, July 30, 1999(a) and 0000UTC, June 25, 2000(b).

72%로 가장 낮은 값을 나타내어 그 편차는 20%이었다. 얼음골의 밖의 상대습도는 시각에 따라 변동이 심하게 나타났다. 이는 관측지점 주위에는 나무와 바위들로 인해 일정한 기류들이 형성되지 않고 지형에 의해 많은 영향을 받고 있다는 것을 나타내고 있다. 얼음골 안과 밖의 기온과 습도 차이 때문에 얼음골 안의 찬공기가 밖의 따뜻한 공기가 만나는 곳에서는 물방울이 응결하여 지표 위에 하얀 안개를 형성시켜 마치 멀리서 보면 얼음골 안에서 흰 연기가 불어 나오는 것처럼 보였다. 사람이 서 있으면 발 근처에는 2℃정도의 공기에 의해 매우 좁고

얼굴부분은 25℃정도의 더운 공기에 의해 매우 덥게 느껴진다. 풍속의 경우, 얼음골 입구의 철책에 풍속계를 설치하여 관측한 결과 그림에서 보듯이 1.3m/s의 속도로 공기가 불어 나오고 있었다. 얼음골 밖의 풍속은 0.5m/s정도이거나 그 이하로서 거의 calm상태를 나타내었다. 얼음골 안에서 불어 나오는 공기의 속도는 국내에서 처음 정량적으로 관측되었으며, 공기의 방출속도가 얼음의 형성과 관계가 있을 것으로 판단된다. 일본의 풍혈에서 공기의 방출속도를 재어 본 결과 0.1m/s라고 하는 관측자료가 있다.⁸⁾ 문승의와 황수진⁶⁾은 얼음이 어는 지점에서 공기의 유출을 연기로써 조사하여, 얼음골 안으로 공기가 간헐적으로 유·출입되고, 계곡의 상부에서는 주로 공기가 들어가고 하부에서는 주로 방출된다고 하였다. 2000년 1월 9일 동계 관측에 의하면 얼음골 안과 밖의 온도가 -5℃로 차이 없었고 공기의 유·출입은 거의 없었다.

관측 당일 얼음골 내부의 돌조각이나 암석표면 그리고 식물 잎에 물방울이 맺혀 있었으며 얼음은 발견되지 않았다. 이는 관측일이 7월 30일로 장마와 관측 몇 일전의 많은 강수로 인해 얼음골이 영향을 받았다고 볼 수 있으며, 점차 겨울에 냉각된 부분이 서서히 식어가는 계절에 있기 때문에 얼음을 볼 수 없었다고 판단된다.

4.2. 2000년 6월 25일의 관측

1999년 7월 관측에서 장마와 강수의 영향으로 결빙현상을 규명하는 데 어려움이 있었기 때문에 장마시작전의 시기를 택해 2000년 6월 25일 12시 30분부터 15시 50분까지 약 3시간에 걸쳐 전년과 같은 방법으로 관측을 실시하였다. 이날의 기상상태는 Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 우리 나라 중·남부 지방은 동해상의 한랭다습한 오호츠크해 기단의 영향을 받고 있었으며, 남부지방은 일본 남해상에 위치한 장마전선의 영향을 받고 있었다. 강원도 영월 기상관측소의 최고기온은 29.5℃, 최저기온은 19.2℃, 평균상대습도는 80%, 평균운량은 9.0이었으며, 강수현상은 없었다. 그러나 6월 21일부터 24일까지 4일 동안 남부지방에 위치한 장마전선의 영향으로 10mm정도의 강수량을 나타내었다. Fig. 4는 2000년 6월 25일 12시 30분부터 15시 50분까지 자동기상관측장비를 이용하여 관측한 얼음골의 안과 밖의 기온, 상대습도, 풍속이다. 먼저 기온의 경우, 얼음골 안의 기온은 0.2℃내외로 관측시간 내내 일정하였으며 빙점인 0℃에 거의 근접하였다. 기온센서의 정확도가 ±0.5℃인 점을 감안한다면 빙점이하일 수 있다. 이 날은 1999년 관측과는 달리 얼음골 안의 암석표면에 얼음조각이 고드름처럼 선명하게 붙어 있

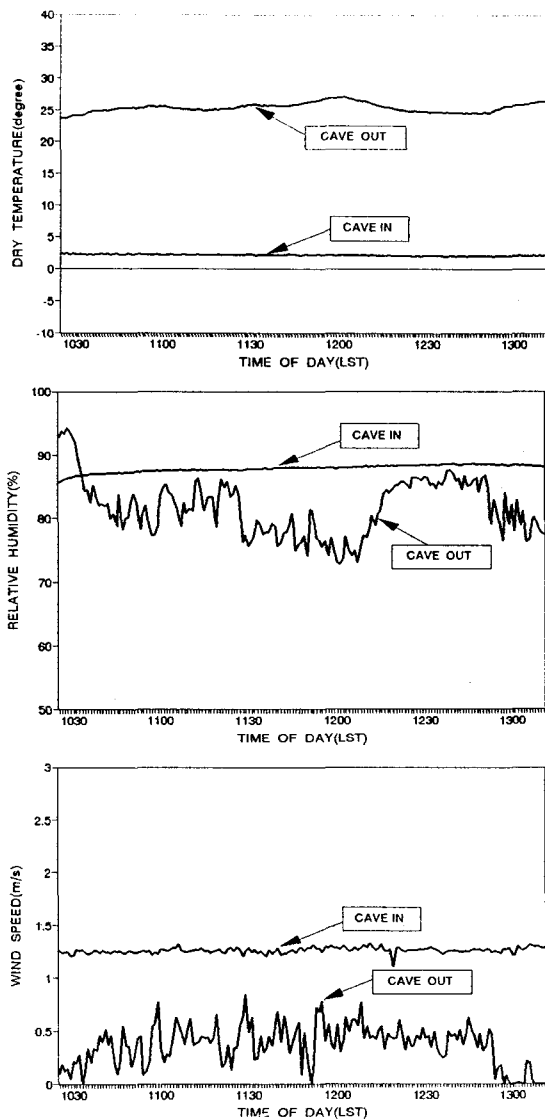


Fig. 3. Variation of meteorological parameter of cave-in and cave-out on July 30, 1999.

었다. 얼음굴 밖은 관측초기인 12시 30분의 23.6℃에서 15시경 28.9℃의 분포를 나타내어, 얼음굴 안과 밖의 기온 차이는 23.4~28.7℃이상을 나타내었다. 상대습도의 경우, 얼음굴 안은 92% 정도로 거의 균일한 분포를 나타내었으며, 얼음굴 밖의 상대습도는 관측초기 50%에서 62%의 분포를 나타내어 그 편차가 12% 정도이었으나, 전년도 보다는 작았다. 전년도에 보였던 지표면 안개생성은 보이지 않았는데, 이는 온도차는 크지만 습도차가 크지 않았기 때문이 아닌가하는 생각이 들었다. 풍속의 경우, 얼음굴 입구의 철책에 풍속계를 설치하여 관측한 결과

그림에서 보듯이 1.6m/s의 속도로 공기가 나오고 있었는데, 이는 전년도보다 0.3m/s 정도 빠른 풍속이다. 얼음굴 밖의 풍속은 전년도와 같이 0.5m/s 정도로 매우 미미하였고 그 변화가 심하였다. 앞서서도 밝혔듯이 얼음굴에서 밖으로 나오는 한랭하고 다습한 공기는 상대적으로 따뜻하고 건조한 공기속으로 방출되면서, 두 공기가 만나는 경계면에서 응결하는데 매우 적당한 조건이 될 수 있고, 계속하여 이런 상태가 지속되면 돌조각이나 암석표면에 붙어있던 액체가 빙점이하로 내려가 얼음이 생성될 수 있다. 즉 응결된 물방울이 얼음으로 되는 것이다. 이에 대한 증거로 관측 당일 얼음굴 내부의 돌조각이나 암석표면에 얼음이 얼어 있었으며 철책이 쳐져 있는 바깥 바위 표면에 응결된 물이 흘러내리는 현상을 볼 수 있었다.

2000년 1월 9일에 겨울철의 얼음굴의 상태를 관찰하기 위해 답사한 바 있었다. 이 때 얼음굴의 안과 밖의 기온은 -5℃로 동일하였고 주위에는 내린 눈으로 하얗게 덮여 있었으며, 얼음굴 안에는 영하임에도 불구하고 얼음은 보이지 않았다. 안과 밖의 기온과 습도가 동일하여서 인지 얼음굴 안에서 밖으로 공기도 불어 나오지 않았다.

겨울동안 0℃이하의 얼음이 바위틈에 얼고 오랫동안 2~3℃의 찬바람이 나오는 현상은 단순히 돌밭 속 바위의 온도가 바깥쪽의 온도보다 낮은 것만으로 일어날 수 없다. 따라서 너털 속 깊숙이 비열이 큰 거대한 냉원을 담은 공간이 존재하거나 또한, 겨울동안 차가워진 바위 외에도 중력에 의해 바위틈으로 유입된 얼음이 냉원 역할을 하고 있을 것으로도 추정된다. 경남 밀양 얼음굴은 지형적으로 북사면으로 향해 있어 겨울 내내 차가워지는 조건을 갖추고 있다. 운치리 얼음굴은 지형적으로 동남동사면을 하고 있어 겨울에도 태양복사에너지가 계속해서 영향을 주고 있으나, 위도상으로 밀양 얼음굴보다 북쪽이고 주위가 산간지형이라 겨울에 눈이 많이 내려 겨울 내내 차가울 수 있는 지형조건을 갖추고 있었다. 겨울동안 차가울 대로 차가워진 이 냉원과 바위틈으로 유입된 눈과 얼음이 여름에 차가운 냉기를 내뿜고 있는 것이다. 즉 바위틈 속 깊숙이 비열이 큰 냉원이 존재하고 있는 것이다. 또한 겨울동안 차가워진 바위 외에도 중력에 의해 바위틈으로 유입된 눈과 얼음이 냉원 역할을 하고 있다고 판단된다. 따라서 겨울에 날씨가 추울수록 돌밭 속에 쌓이는 얼음의 양도 늘어날 것이고 이듬해 여름에 얼음이 어는 기간도 길어 질 것이라는 것이다. 이에 대한 증거로서 밀양 얼음굴의 경우, 여름철에 결빙이 일어나지 않거나 빨리 사라진 해가 1991년,

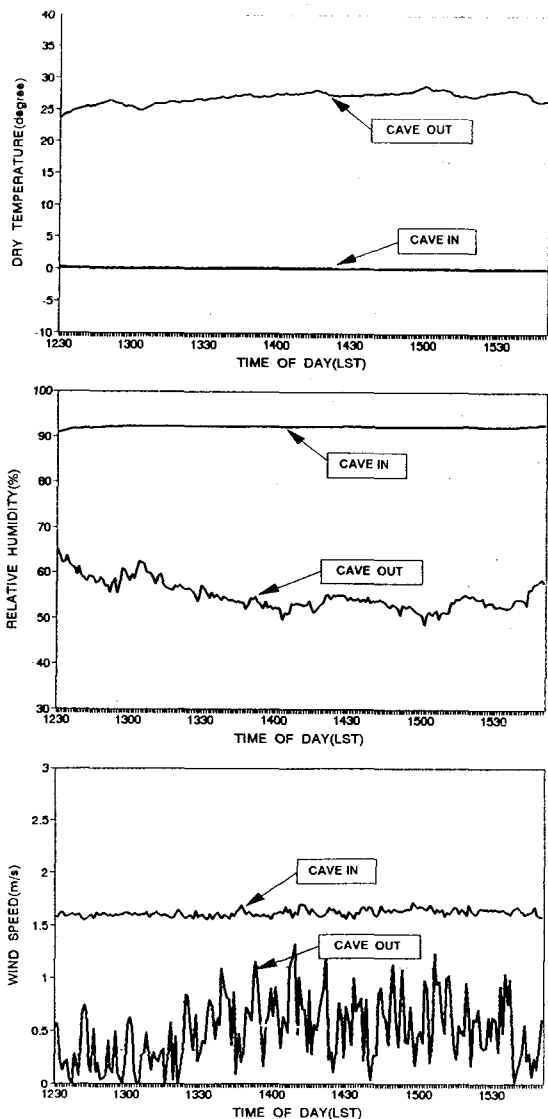


Fig. 4. Variation of meteorological parameter of cave-in and cave-out on June 25, 2000.

1998년 1999년 이었는데, 모두 엘니뇨현상에 따른 지난 겨울과 봄의 이상난동을 나타낸 해로서 차가운 공기의 축적이 부족하여 얼음이 사라진 것으로 판단된다. 따라서 초여름에 얼음이 얼고 언제까지 얼음골에서 시원한 바람이 불어 나오느냐는 지난 겨울의 기후 즉 기온과 강수량에 의해 영향을 받는다고 볼 수 있다.

5. 결 론

강원도 정선군 신동읍 운치리 얼음골의 여름철 결빙현상을 두 번의 여름철 관측과 한번의 겨울철 관측에 의해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 겨울철 동안 너들을 포함한 산등성이와 계곡이 충분히 차가워지고, 둘째, 봄이 되면서 얼음골 안의 차고 습한 공기가 바깥의 따뜻하고 건조한 공기와 갑자기 만날 때 단열냉각에 의해 온도가 내려가면서 돌 표면에 물방울이 생기게 되며, 셋째 얼음골 안의 공기가 바깥으로 빠른 속도로 나오면서 돌 표면의 물방울이 기체로 되면서 열을 빼앗긴다. 그러면 돌 표면의 온도가 내려가고 접해있던 물은 얼게 된다. 마지막으로, 이 현상이 계속되면 암석표면의 얼음은 더욱 성장하여 고드름과 같은 얼음 덩어리가 되는 것이다.

따라서 본 연구는 여러 연구자들이 결빙현상의 원인을 단열팽창설, 기화설, 자연대류설, 냉기체류설, 대류빙결설로 설명하고 있는데, 본 연구지역은 계곡이 아니라 산등성이에 있기 때문에 지하수면이 결빙지점보다 상당히 하부에 있을 것이라고 보기 때문에 기화설 만으로는 설명하기 어렵다. 따라서 운치리 얼음골은 겨울철의 기온하강과 여름철의 찬 공기 분출 등은 자연대류설로서 설명할 수 있고, 암석의 물방울 생성은 김성삼⁵⁾에 의해 제기된 공기팽창에 의한 냉각설로 설명되며, 암석표면의 빙결은 문승의 황수진⁶⁾에 의해 제기된 기화설로 설명하고자 한다. 따라서 결론적으로 운치리 얼음골의 하계 결빙은 자연대류설, 단열팽창설, 기화설이 복합되어 발생한 것으로 판단된다. 향후 컴퓨터에 의한 수치실험과 실험실에서 소형 풍혈을 만들어 그 생성원인을 찾아내는 작업이 필요하다고 사료된다.

감사의 글

이 연구는 2000년도 무량향연구비지원비에 수행되었으며, 더운 여름철과 추운 겨울철인데도 불구하고 관측업무 수행에 도움을 아끼지 않은 승운, 지운 군에게 심심한 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 과학동아, 1996년 7월호.
- 2) Ohata, T., T. Furukawa, and K. Higuchi, 1994a, Glacioclimatological study of perennial ice in the Fuji Ice Cave, Japan, Part 1. Seasonal variation and mechanism of maintenance, Arctic and Alpine Research, 26, 227-237.
- 3) Ohata, T., T. Furukawa, and K. Higuchi, 1994b, Glacioclimatological study of perennial ice in the Fuji Ice Cave, Japan, Part 2. Interannual variation and relation to climate, Arctic and Alpine Research, 26, 238-244.
- 4) 전병일, 1999, 우리 나라 얼음골의 여름철 결빙현상에 관한 고찰, 신라대학교 환경학과 학술지, 창간호, 87-92.
- 5) 김성삼, 1968, 얼음골(밀양군)의 하계결빙현상에 관하여, 한국기상학회지, 4(1), 13-18.
- 6) 문승의, 황수진, 1977, 밀양 얼음골의 하계결빙현상에 관한 연구, 부산대학교 사대논문집, 4, 47-57.
- 7) Song, T. H., 1994, Numerical simulation of seasonal convection in an inclined talus, Proceedings of the 10th International Transfer Conference, 2, Brighton, 455-460.
- 8) 藤原滋水, 1985, 箱根・早雲山の累石風穴, 氣象, 29, 8135-8137.
- 9) Bae, S. K. and I. Kayane, 1986, Hydrological study of Ice Valley, Korea, Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, 12, 15-20.
- 10) 田中 博, 1997, 韓國ウールロセコルにおける夏季氷結現象の数値實驗, 地理學評論, 70A-1, 1-14.