

대관령의 주빙하 현상

권순식*

Periglacial Phenomena on the upland Daekwan-Ryong, Korea

Kwon, Soon Shik

요약: 대관령 고위면 일대에는 주빙하 현상에 의한 지형이 발달해 있으며 겨울철의 강풍 및 적설에 의한 설식작용과 토양 침식 또한 현저한 동결과 융해 프로세스에 의한 토양포행, 솔리플럭션 퇴적물 및 결빙압력에 의한 실트캡 등이 관찰되어 다른 연구지역과 구별된다. 현재기후와 더불어 보다 한랭하고 습윤한 고기후 조건에서 이러한 지형발달과정은 대관령일대의 지표환경을 주도하였다.

주요어: 주빙하 현상, 결빙포행, 솔리플럭션퇴적물, 실트캡

Abstract: The purpose of this paper is to present a comprehensive picture of current survey concerning the periglacial phenomena of Daekwan-Ryong area located in high altitude zone of Taebek Mountains, Korea. The dominant characteristics of this landscape are those produced by ground freezing. Prolonged snowcover may intensify processes of nivation and erosion; storage of precipitation as snow for much of winter and spring season may result in rapid snowmelt run off over frozen slopes and strong winds blowing over terrain unprotected by vegetation may result in soil creep. A combination of frost action and solifluction may help the periglacial effects. The solifluction deposits in these valleys reflect slow downslope movement of drift saturated by nival meltwater in the past environment. All of these processes produce distinctive periglacial landforms or deposits and silt caps on the landscape of upland Daekwan-Ryong, Korea.

Key Words: periglacial phenomena, frost creep, solifluction deposits, silt cap

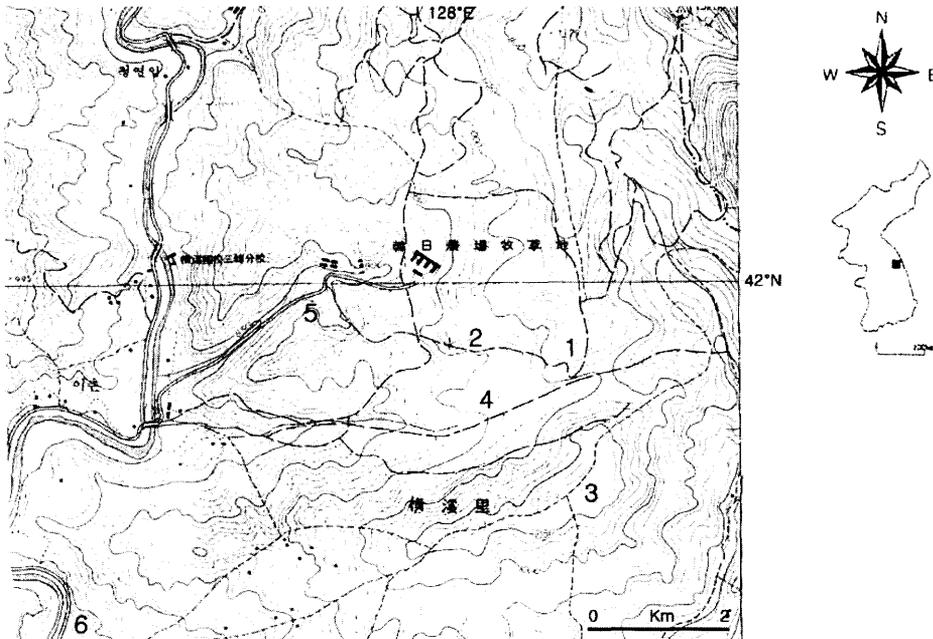
* 청주대학교 지리교육과 교수 (Professor, Dept. of Geography Education, Chongju University, Korea)

1. 서론

강원도 평창군 대관령의 고도 800m에서 1300m 이르는 지대는 일찌기 이른바 고위평탄면이라고 알려져 있는 곳으로 삭박 지형면 존재하고, (<그림 1> 참조) 서부 평야지대에 비해 연평균기온이 5°C - 7°C 낮은 한냉한 환경이며 영하의 일수가 연중 160일이 넘고 있다. 1월, 2월의 최저기온은 -13°C - 14°C 도이고 최대 -30°C 를 기록하고 대설주의보도 수시로 발령된다. 많은 양의 적설이 3월, 4월에도 녹지 않고 있으며 평균강수량은 1,612mm에 달한다. 한반도에서 남북으로 있는 태백산맥능선을 살펴보면 대관령은 비교적 낮은 부위를 차지한다. 따라서 이곳을 통과하는 바람은 다른 곳보다 강하다.

겨울철과 봄철의 북서 계절풍은 바싹 마른 지표를 침식하고 해빙기의 융설수로 토양침식이 가속

화 된다. 서릿발과 상주(霜柱)는 토양을 들어 올리고 파괴되면서 이동시킨다. 동해안쪽에서는 올라오는 상승기류에 의해 대관령평탄면은 안개일수가 많고 여름철의 집중강수, 동계에는 다설지로서 적설로 유지되는 기간이 상당히 길다. 결과적으로 동결과 융해 프로세스에 의한 화강암 기반암의 입상붕괴현상이 두드러지는데 조립의 사질토양이 다량으로 출현하고 이들의 서릿발작용 또한 활발하여 토양포행을 일으킨다. 이른 봄부터 늦봄까지 반복되는 결빙과 융해, 융설수들은 다량의 물리적 풍화에 의한 암설을 운반한다. 조암광물의 입자크기가 다양하고 배열이 고르지 않아서 팽창과 수축으로 입자사이가 벌어지면 수분이 지하로 침투하고 동결하며 되풀이되는 현상이 계속 되면 주빙하 특유의 솔리플러션(solifluction) 사면이동이 발생하여 사면을 발달시키고 평탄면을 더욱 조장하며



<그림 1> 조사지역도(대관령) 1:25,000

과거 빙기(glacial period) 또는 소빙기(little ice age)를 거치면서 구릉성 평탄면은 더욱 변형을 받아왔다. 본 논문은 대관령 일대의 주빙하 현상을 제시 하는데 그 목적을 두었고 이를 위하여 현장답사를 실시했다.

여기에서는 암석의 풍화정도, 토양포행과 토양유실, 설식의 형태, 솔리플럭션과 그 퇴적물을 조사하였다. 퇴적물 조사에서는 퇴적층의 두께, 고결정도, 퇴적상태, 미립물질의 분석, 사질토양에서 모래알의 원마도 등을 체크하였다. 동시에 대관령에서 연구 발표한 논문과 자료가 많이 나와 있어서 이를 참고하였다 (권순식, 1987; 이용범, 1991; 권순식, 1992; 권혁훈, 1999; 기근도, 1999). 답사에 사용한 지도는 국립지리연구원 발행의 지형도(1:25,000)이다.

2. 주빙하 현상

1) 설식지형

대관령 구릉사면과 능선부, 능선에서 이어지는 사면에는 설식에 의한 급사면과 분지형의 바닥에는 와지(nivation hollows)가 형성된다(〈그림 2〉).

설식와지, 설식단구, 설식사면의 형성은 여러가지로 논의되며 연구보고 되고 있다(Henderson, 1956; Thorn, 1988; Ballantyne, et. al., 1994; 권순식, 1987; 이용범, 1991; 권순식, 1992; 권혁훈, 1999; 기근도, 1999). 경사를 가진 대관령 풍화층에 쌓인 눈더미(snow patch)가 서서히 이동할 때와 봄철의 융설수의 면상침식에 의하여 타원형으로 또는 사면 아래로 길게 늘어진 타원형으로 관찰된다. 〈그림 2〉는 평탄면에 발달한 돌리네모습의



〈그림 2〉 설식 와지와 급사면

대관령의 주빙하 현상

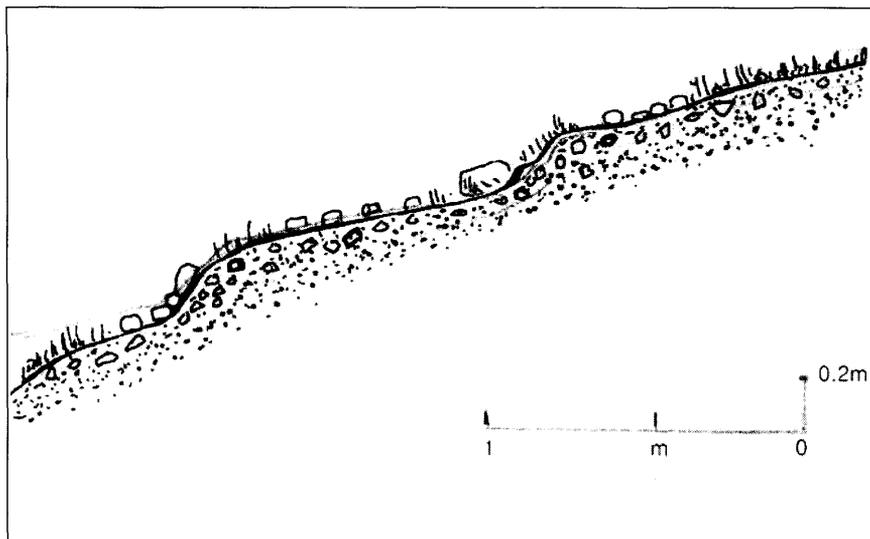
설석와지(깊이 3m, 직경 30m)와 그것에 이어지는 능선부로서 경사가 23° 내외이고 직선상으로 발달한다. 적설은 남동사면을 향하고 있다. 와지 바닥은 경사 2° 내외로 평평하며 설편이 존재하고 습원으로 결빙되어 있다(〈그림 1〉의 1과 2).

설석은 또는 지표기복을 완만하게 또는 크게 하고 지표수 작용이 원활하도록 돕는다. 대관령의 지표수는 설석에 유도된 저지와 (곡지바닥) 곡이 많아 릴류(rill flow)와 우수침식(rain wash), 그리고 포상유수(sheet flow)에 의한 우곡이 평탄면에 발달하는데 특히 풍화층이 깊은 곳은 개석곡지로 V자형을 이룬다. 우곡에는 오리나무(alder)와 당단풍(sugar maple tree), 신갈나무(oak), 관목류 등 낙엽활엽수가 자라고 있다. 〈그림 3〉은 고도 1050m 능선에 형성된 설석 사면아래(경사 15°-22° 사이)에 나타난 계단지형으로 직경 4cm 내외의 조립 각력 암설들이 결빙상승(frost heaving)으로 지표면에 일렬로 몰려 있어서 결빙과 융해의 반

복이 활발함을 보인다(권혁훈, 1999). 이러한 현상은 목초지로 관리 되지 않은 지역이면 건조한 동계 기간에 토양포행과 더불어 진행되는 것으로 판단되는데 토양층과 풍화 기반암 사이에서 발견되고 각력들의 장경이 사면아래쪽을 향하여 있어서 stone line과 유사한 것이 아닌가 생각된다. 활발한 암설의 분급과 미립물질이 다량으로 있는 경우, 융설수를 보존하면 동결에 따라서 구조토(patterned ground)를 형성할 수 있지만 본 지역에서는 사질이 우세함으로 수분의 보유가 원활하지 못하여 구조토에는 이르지 못한다. 겨울철 저온이 장기간 계속되지 않는 우리나라 기후 하에서 이러한 미지형은 여름 강수에 의하여 붕괴되고 미세한 암설은 곧 제거된다.

2) 토양포행과 솔리플렉션

고도 780m의 구릉지와 사면에서 기울어진 전신



〈그림 3〉 설석계단과 stone line.

주와 철축들이 발견되고 사면상에 설치한 인공 구조물들이 토양포행에 의하여 어긋나거나 훼손되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 최근 수년간에 이루어진 점으로 보아 토양포행의 영향이 상당히 진전되고 있음을 알 수 있다(〈그림 1〉의 3). 등산로의 계단과 풍화층을 포함한 토양에서 발견되는 토양포행 현상은 겨울철 기온저하로 동결되었다가 일시적으로 녹거나 강풍에 의한 것, 적설층이 갑자기 붕괴 될 때 집중적으로 발생하는 것으로 사료된다.

화강암 풍화층과 토양층 내에는 다수의 적색 밴드들이 관찰된다(〈그림 1〉의 4). 이는 동결로 인한 토양 내 물질이동으로 철분을 포함한 점토들이다(권순식, 1987; 오경섭, 1989; 기근도, 1999). 포행 과정에서 실트와 운모광물, 철분(Fe_2O_3)의 집적으로 특이한 구조를 나타하는데 이 지점은 침식 탈거

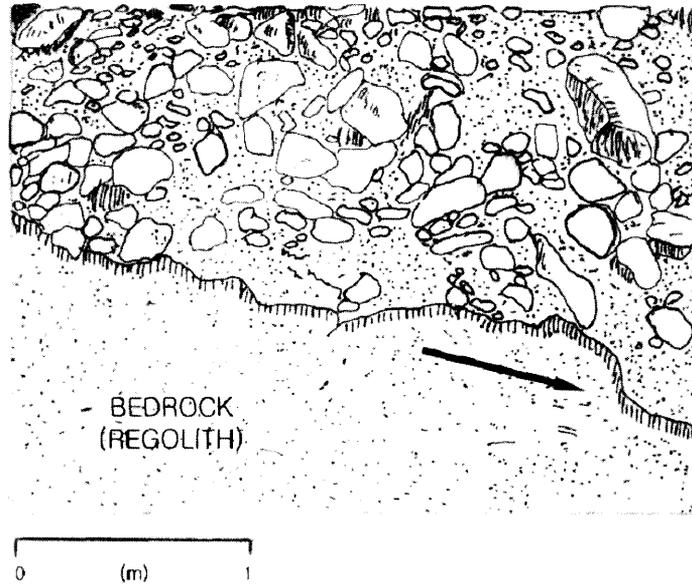
가 진행된 것으로 미루어 보아 어느 정도 깊이까지 동결이 진전됨을 보인다. 밴드와 밴드사이의, 거리, 고결정도, 색상, 배열이 조금씩 다르다. 경사진 사면에서 밴드들은 지표경사를 따라 굴곡져 있어서 경사방향을 따라 이동한 결과로 토양포행의 증거로 간주된다(〈그림 4〉).

〈그림 5〉는 고도 770m의 곡지주변의 것으로 풍화된 기반암 위에 두께 1.5-2m정도로 퇴적된 사면 각력층으로 구성되어 있고 자갈들 사이에는 기반암에서 기원한 사질물질과 입경과 색상이 다양한 미립물질이 포함된다. 붉은 색을 보이는 물질과 같이 퇴적된 퇴적물은 어느 정도 단단히 고결되어 있다. 기반암은 사질이 풍부하고 적색은 나타나지 않는다. 이러한 사실은 한반도 도처에서 나타나는 현상으로(장재훈 교수의 많은 연구) 배후지에서 생산된 자갈들이 사면을 따라 운반되면서 기반암을 삭



〈그림 4〉 풍화층내 망상구조의 밴드구조

주) 대관령 고위면(고도 1050m)에서 분포한다.
출처: 기근도(1999) p.143.



〈그림 5〉 솔리플럭션 퇴적물(solifluction deposit)

주) 각력상태의 자갈은 분급이 불량하고 mass상태로 퇴적된다. 풍화기반암은 영구동토의 역할을 한다. 화살표는 경사방향임.

박하고 적색의 풍화물질을 퇴적층에 포함시킨 결과이다 (권순식, 1977; 장재훈, 1983, 2002). 여기에서 적색의 미립물질은 토양 내에서 반복된 이동 과정을 거쳐 붉은 점토 밴드를 형성 한 것이다.

대관령지역의 퇴적층에서는 어떤 bedding과 sorting을 이루지는 않는다. 자갈의 입경이 다양하며 장경과 단경을 보면 사면을 따라 무질서하게 직립하거나 큰 자갈이 지표면 가까이 많이 몰려 있고 (직경 30cm의 암괴도 발견된다). 작은 것들이 가운데 또는 밑에 퇴적된다. 이것은 상부사면에서 밀려온 사면 퇴적물로서 솔리플럭션에 의한 것으로 판단된다. 각력형태의 자갈들은 풍화되지 않았고 장축들은 미약하지만 사면방향으로 기울어져 있으며 대관령 기반암인 화강암에서 기원한다. 현재의 대관령 기후조건으로 보아서 이러한 상태의 퇴적현상은 진행되지 않고 보다 한랭 습윤한 환경

에서 이루어진다고 추정된다. 오랫동안 삭박작용과 개석으로 고 환경성 솔리플럭션 퇴적층은 그 원형이 파괴 되었고 대관령일대에서 그 일부가 노두로서 발견되어 주목된다(〈그림 1〉의 5).

3) 단구 역층

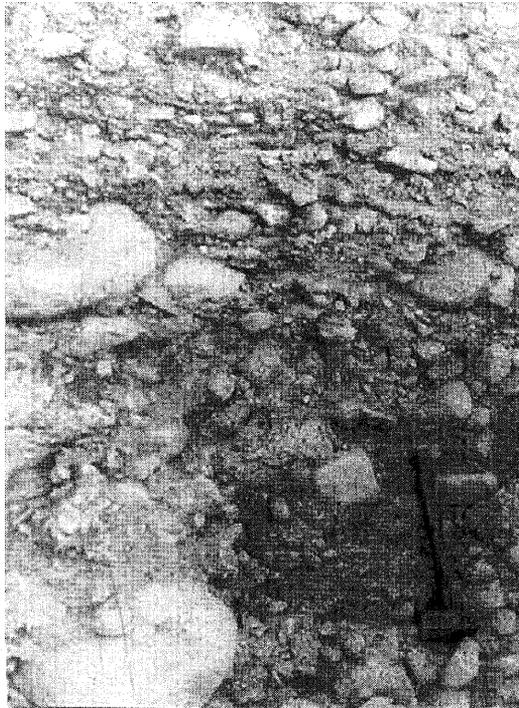
평창군 도암면 소재지 횡계리를 관통하는 송천(松川, 고도 630m)의 동편에 존재하는 단구면과 이에 접촉되고 있는 산록부에 위치한 노두인데 화강암 풍화층과 그 위에 단구역층은 아원력층으로 구성된다(〈그림 1〉의 6). 여기에는 고결된 하천 퇴적물이 두께 3m정도로 쌓였고 층리와 분급이 양호하다. 단구를 구성하는 자갈들은 치밀하게 경화되고 미립물질이 역층사이에 밀도 있게 끼여 있다. cobble, pebble 및 granule역들의 윗면은 점토와

실트로 접착되어 있는 반면 아래 면은 세척되어 있다. 지표면의 활동층이 밑으로 얼어 내려가면 동결에너(cryo-erg) 또는 동결압력을 받아(cryostatic-pressure) 점토와 실트 같은 미립질이 아래로 밀리면서 자갈표면에 덧씌운다. 즉 점토코팅(clay-coating)되면서 치밀해 지고 잘 씻기지 않으며 오랫동안 보존된다. 이러한 물질분화 현상은 동결할 때 물리적 압력으로 진행된 얼음렌즈 작용으로 판단된다. 압축된 미립물질 매트릭스에는 수직균열을 따라 깨지지 않은 공극과 미세한 기포 같은 vesicles가 확인된다. 동결작용에 부분적으로 작은 자갈들과 모래알들이 교란되어 분급을 이루고 (frost-sorting) 기울어져 있거나 한쪽으로 몰려 있

어서 요동현상 즉 크리오터베이션(cryoturbation)을 강하게 받은 것으로 풀이된다. 보다 한랭한 고환경에서 뿐 아니라 현재도 이러한 작용이 대관령 일대에도 진행되는지 것으로 간주된다. (<그림 6>)

3. 고찰

대관령 평탄면에는 미기복의 구릉과 구릉사면이 발달되어 있고 여기에는 과거 및 현재의 주빙하 현상에 의한 지형이 쉽게 관찰된다. 다수의 목장이 자리 잡고 있는 넓은 곡지바닥은 풍화층이 설식에



<그림 6> 송천 주변의 단구역층

주) 자갈들은 결빙압력으로 치밀하게 압축되었다.

의해 개석된 와지로부터 출발 한 것이고 그 후 우수침식과 우곡의 확대에 이어져 온 것이 확실하다.

특히 직선상의 능선은 설식사면으로 지표기복을 잘 나타낸다. 평탄면에서 직경 25m에 달하는 와지는 돌리네와 유사한데 겨울철은 적설이 오랫동안 유지되고 늦은 봄철에서 여름철은 습원을 이루기도 한다. 적설이 적은 곳은 강풍에 노출되어 있어서 침식이 현저하며 적설이 두꺼운 곳은 다양한 형태를 가진 와지를 형성하고 크기도 서로 다르다(이용범, 1991; 권혁훈, 1999).

권혁훈은 대관령 같은 높은 고도와 급경사를 지닌 지역은 강수와 우수, 결빙작용, 바람의 작용, 중력작용이 결합하여 평지와 특별히 다른 지형경관 형성 작용(landscape processes)이 빠르게 진행된다고 언급했다.

설식급사면이 발달한 곳에 소규모 계단상 지형이 발달하고 암설들이 혼재되는데 (<그림 3>) 이는 동결된 토양이 용해되면서 포행한 결과로 보인다(French, 1976: 141). 그러나 이러한 미지형은 일시적인 현상으로 계절이 바뀌면 소멸되는 것으로 본 연구지역을 비롯하여 우리 나라 고산지역인 한라산과 지리산에는 잘 관찰된다(김도정, 1970; 장호, 1983).

현재 한반도는 주빙하 기후조건에 들지 않지만 특수하게 관찰되는 이들 고산지역에서는 겨울철에 활발한 서릿발작용으로 토양입자들을 교란시키면서 사면 아래쪽으로 이동시키고 얼음렌즈(ice lens) 형성 시에는 얼음핵을 중심으로 수분이 이끌리면 그 외측으로는 수분상실을 가져와 건조하여 응집력이 상실되어 흘러내린다. 봄철에 지면의 활동층이 수분을 다량 함유할 때는 토양을 포함하여 암설들이 주빙하 현상에 의한 솔리플렉션으로 사면이동을 활발히 촉진한다(French, 1976: 135). 여

기에서 기반암의 물리적풍화도 동시에 진행된다. 즉 지표면 가까이는 물론 불연속면도 침투된 지표수와 지하수의 동결 용해로 발생하며 절리나 균열이 집중된 화강암기반에서 흔히 관찰된다. 취약한 블록이 붕괴되면 잇달아서 다른 쪽 블록이 떨어져 나온다.

붕괴가 시작되거나 붕괴된 물질이 모여 있다가 하중이 커지면 낙석현상을 수반한다.

완경사면과 기반암 면이 국지적으로 파여진 뺨지에는 입경 10cm내외의 암설들이 퇴적되어 있는데 여기에는 조립의 사토가 많고 세립물질도 많다.

(입경분포도 생략) 기근도(1999) 연구의 입도분석은 실트함량이 높았고(18-38%) 암설들이 거의 각력이며 풍화상태는 hammer break로 토양색은 7.5YR (strong brown)으로 파악했다. 이러한 사실은 대관령지역의 주빙하 작용에 의한 물리적 풍화가 진전되었음을 보인다.

암설사이의 토양색도 적색과 황갈색, 갈색이 많고 일정한 간격으로 배열된 밴드가 관찰된다. 이러한 밴드들은 지표에서 결빙이 시작된 결빙점(freezing points)들로서 결빙라인(결빙전선, freezing front)으로 판단되고 그 후에 포행으로 구조가 굴곡되어 화석적으로 보존되었다. 화강암에서 기원한 암설과 모래들은 원마도 없는 각력상태로 풍화 되지 않았으며 직경 30cm의 것이 지표면에 얹혀 있는가 하면 직경 수cm의 것이 퇴적층 중간이나 기반암접촉부분에 분급현상 없이 그리고 장축들이 일정한 방향성 없이 쌓였다. 판단하건대 다량의 수분을 포함한 상태에서 솔리플렉션 작용에 의하여 운반 된 것으로 생각된다. (<그림 5>)

현재 대관령의 솔리플렉션 퇴적물이 형성되는 증거는 없고 부분적으로 파괴되면서 안정한 상태로 있으며 암설들은 동결과쇄 되고 토양형성이 미

약하게 이루어지면서 식생이 정착하여 유물상태 (relict solifluction sheets)로 존재한다. 이러한 퇴적물은 sorting, bedding 없이 완경사면에 mass상태로 운반되어 여러 지역에서 논의 되어 왔고(권순식, 1977; 장재훈, 1979). 풍화기반암은 위에서 내려오는 수분의 침투를 막아 주빙하지역의 영구 동토의 역할을 대신한다. (<그림 5>) 단구역층에서 관찰되는 결빙압축작용은 암설들을 치밀하게 하고 (<그림 6>) 결빙이 진행되면서 점토와 실트물질을 자갈표면에 코팅처리 하였다(Brewer, 1964; Harris, 1981). 이러한 동결토양에서 코팅작용은 'silt cap'으로 불리고 원마되지 않은 조립의 모래알에도 발견되는데 이를 'cutan'이라고 한다 (FitzPatrick, 1956; Brewer & Pawluk 1975; 권순식, 1987). 암설이 없는 매트릭스물질과 토양층에서는 기포와 같은 매끄러운 공극들이 깨지지 않은 채로 발견된다(권순식, 2003: 539). 이러한 공극들을 vesicles라고 하는데 (Williams, 1959; Brewer, 1976). FitzPatrick(1969)는 토양수가 동결할 때 토양공기가 축출되기 때문이라고 하였고 Harris(1981)와 Van Vliet Lanoe(1991)는 얼었던 토양이 녹을 때 액체화 되면서 토양공기가 기포를 형성하면서 만들어 진 것이라고 하였다. 이러한 사실은 대관령지역에서 한냉한 조건이 주빙하 현상을 만들어 내는 결정적인 요소인 것으로 사료된다.

4. 결론

필자는 본문에서 대관령 평단면 조사를 통하여 다음과 같은 사실을 파악하였으며 앞으로도 높은 고도의 지형환경에 대한 연구가 지속적으로 진행될 필요가 있다.

첫째, 적설과 융설에 의하여 화강암 풍화층에서 동결 융해작용으로 설식이 유도되어 다양하고 복잡한 와지를 형성하고 강풍과 더불어 설식사면이 발달하며 봄철의 다량의 지표수가 미립물질을 쉽게 제거한다. 한편 서릿발작용이 왕성하여 수분이 많은 화강암 풍화층과 지표토양층에서 토양 입자간의 연결력 즉 응집성을 약화시키고 빈번한 결빙 상승과 토양입자의 재배치로 인한 결빙포행으로 진전되며 포행과정에서 실트와 철분집적으로 특이한 밴드 구조를 나타내고 수분과 함께 솔리플렉션으로 토양이동을 가속화 시킨다. 그 결과 경사진 사면에서 지표경사를 따라 밴드들이 출현한다.

둘째, 곡지바닥을 따라 운반된 솔리플렉션 사면 퇴적물질은 주빙하조건에서 활발한 물리적풍화에 의한 암설 및 사질토양과 실트를 매트릭스로 하여 mass상태로 피복되었고 현재 기후 보다 더욱 한랭한 환경에서 퇴적되었음을 시사하여 유물상태로 간주되며 현재는 파괴과정에 있다.

셋째, 단구역층을 구성하는 원마된 자갈들은 쌓인 후 결빙압력으로 치밀화 과정을 현재에도 거치고 있으며 물질분화 현상으로 실트캡 코팅이 이루어지면서 미립물질들은 크리오터베이션을 받고 있다.

참고문헌

- 권순식, 1977, "동래 금정산록의 Solifluction 퇴적물에 관한 연구", 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 권순식, 1987, "한반도 화강암 풍화층에 발달된 제4기후반의 주빙하 결빙구조에 관한 연구", 지리학논총 별호 4.
- 권순식, 1992, "강원도 흘리의 설식지형 고찰", 지리학논총 19, 1-10.

대관령의 주빙하 현상

- 권순식, 2003, "화강암 풍화층의 특성과 결빙포행," 한국지 역지리학회지 9(4), 534-545.
- 권혁훈, 1999, "대관령 일대 지형 환경의 유형화", 한국교 원대학교 대학원 석사학위논문.
- 기근도, 1999, "대관령 일대의 지형, 토양 환경", 한국교원 대학교 대학원 박사학위논문.
- 김도정, 1970, "한라산의 구조토", 낙산지리 1, 3-10.
- 오경섭, 1989, "Bt Band의 형성과정", 제4기학회지 3, 35-45.
- 이용범, 1991, "대관령 일대 설식와지의 형태적 특색에 관 한 연구", 한국교원대학교 석사학위논문.
- 장재훈, 1979, "한국의 사면퇴적물에 관한 연구", 성신여대 연구논문집 12, 163-175.
- 장재훈, 1983, "한국의 산록완사면에 관한 지형학적 연구", 경희대학교 대학원 박사학위논문.
- 장재훈, 2002, 한국의 화강암 침식지형, 성신여자대학교 출 판부.
- 장 호, 1983, "지리산 주능선동부의 주빙하지형", 지리학 27, 31-50.
- Ballantyne, C. K. & Harris, C., 1994, *The Periglaciation of Great Britain*, Cambridge.
- Brewer, R., 1964, *Fabric and mineral analysis of soil*, Wiley & Sons.
- Brewer, R. Pawluk, S., 1975, Investigation of some soils developed in hummocks of Canadian sub-Arctic and southern Arctic regions, *Canadian Journal of Soil Science* 55, 301-319.
- FitzPatrick, E. A., 1969, Some aspects of soil evolution in north-east Scotland, *Soil Science* 107, 403-408.
- French, H. M., 1976, *The Periglacial Environment*, London: Longman.
- Henderson, E. P., 1956, Large nivation hollows near Knob Lake, Quebec, *Journal of Geology* 64, 607-616.
- Harris, C., 1981, Microstructure in solifluction sediments from South Wales and North Norway, *Biuletyn Peryglacjalny* 28, 221-226.
- Harris, C., 1981, *Periglacial Mass-wasting: A Review of Research*, BGRG Research Monograph, Geo Abstracts.
- Thorn, C. E., 1988, Nivation: a geomorphic chimera, in Clark, M. J. (ed), *Advances in Periglacial Geomorphology*, Wiley, 3-31.
- Van Vliet-Lanoe, B., 1991, Frost Effects in Soils, in Boardman, J. (ed), *Soils and Quarternary Landscape Evolution*, John Wiley & Sons Ltd., 117-157.
- Williams, P. J., 1959. An investigation into processes occurring in solifluction, *American Journal of Science* 257, 42-58.