

淺水灣 看月島層의 堆積後 變形相(cryoturbation)으로 해석되는  
第4紀 最後氷期の 韓半島 西海岸의 古環境

吳慶燮 · 朴龍安\* · 金黎相\*\*

한국교원대학교 제2대학 지리교육과

\* 서울대학교 자연과학대학 해양학과

\*\* 공주대학교 사범대학 지학교육과

The Paleoenvironment(the LGM time) of the Western Coastal Area of the Korean Peninsula (eastern margin of the Yellow sea) based on Characteristic Cryoburbation Evidence from the Kanweoldo Deposit, Cheonsoo Bay, West Coast of Korea.

Kyong Seob Oh, Yong Ahn Park\* and Yeo Sang Kim\*\*

Department of Geography, Korea National University of Education, Cheongju, Korea

\* Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

\*\* Department of Earth Science, Kongju National University, Kongju, Korea

要 約

淺水灣 現世 潮間帶層에 의하여 부정합적으로 피복된 先現世層(看月島層)은 지난 빙하기(Würm) 동안 황해가 乾陸 상태에 있었을 때 外的營力에 의하여 형성된 동토구조(cryoturbation)를 지니고 있는바, 본 연구는 노출 단면과 미시적 현미경 조직을 파악하여 당시의 古環境을 밝히려는 것이다. 이를 위하여 세심한 야외 조사는 물론, 편광현미경을 이용한 微視的 組織 分析과 탄화 유기물에 대한 炭素年代( $^{14}C$ ) 測定 등이 종합되었다.

간월도층은 第4紀 最終 氷期(Würm) 寒冷氣候 하에서 結氷作用과 관련되어 동토구조의 하나인 葉狀構造를 나타내고 있다. 이를 미시적으로 보면 葉層은 列狀으로 배열된 球形의 準土粒들과 silt cap이 덮고 있는 형태로 구성 물질들이 재배치되어 壓縮·固化되어 있다. 원래의 퇴적층이 이와같이 변형되었음은 빙하기 상황에서 토양이 결빙될 때 렌즈 모양으로 土氷 形成, 結氷前線 진전과 함께 미립물질이 이동하는 현상(cryophoresis), 성장하는 토빙이 주변에 가하는 압력 및 frost creep에 의한 교란 등이 복합적으로 작용했기 때문이다. 그리고 이러한 結氷構造와 관련되어 gleyzation 및 pseudo-gleyzation과 같은 寒冷·濕潤型 土壤形成作用이 진전되었다. 이들은 간월도층에서 진행되었다고 사료된다.

간월도층의 특징적 동토구조의 연구결과는 경기도 전곡리 용암대지를 덮고있는 풍적토에서의 결빙구조와 구석기 유적이 출토된 층위를 바탕으로 Würm 빙기 후기의 토양이 깊이 결빙될 정도의 한랭·습윤한 古氣候가 한반도에 존재했다는 연구 결과와 일치한다는 사실은 중요한 것이다.

#### ABSTRACT

The Kanweoldo Deposit in the Cheonsoo Bay, western coast of Korean Peninsula, is considered to be influenced by severe freezing condition under cold humid environment of the last glacial age. The evidence of severe freezing in the some upper part of the fine-grained Kanweoldo Deposit is characteristically irregular wavy lamellar structure with the interval of 2~8mm. In particular, lamina show very compacted fabrics, composed of rounded or spheroidal discrete aggregates covered by silt caps. Such laminar structure and associated micro-fabrics might owe to soil freezing, such as ice segregation in lens form, cryophoresis, pressure from growing ice and disturbance by frost-creep. Furthermore pedogenesis of cold-humid type such as gleyzation or pseudo-gleyzation also might affect the Kanweoldo Deposit in the priod of severe cold-humid climate of the Würm.

The Kanweoldo sediment and organic remnant(16,708 B.P. with error limit of 250 years) affected by severe cryogenic activities suggest that the paleoclimate of Late Würm in Korea might be so cold and humid as to engender the cryogenic structure in subaerial silty and sandy silt deposits.

#### 서 론

한반도 서해안 淺水灣의 現世 潮間帶層

(갯벌)아래에는 層序의 位置를 달리하는 사질 니토 또는 니토층이 존재한다. 이 층은 적갈색 및 회백색을 띠고 準固化되어 있는

데다 토양의 結水作用과 관련된 것으로 알려진 葉狀構造(Oh, 1985; Oh *et al.* 1987; Van Vliet-Lanoë, 1985; 오경섭, 1989; 권순식, 1987; 오경섭·김남신, 1994)가 나타나고 있어서 현세 조간대층(갯벌 층)과는 뚜렷한 대조를 이루고 있다. 본 층에 대해서는 이미 金黎相·朴龍安(1988)에 의해 연구('看月島層'이라고 명명)되어 조직 및 퇴적학적 특징을 바탕으로 先現世層(Pre-Holocene deposit)으로 보고된 바 있다.

先現世層인 看月島層에는 一次的 堆積構造로 볼 수 없는 土壤 結水과 관련되는 葉狀構造(cryoburbation)가 발달하여 특히 最終 氷期の 韓半島 第4紀 古環境 구멍에 귀중한 연구 대상이 된다. 제4기의 최종 빙기에는 전세계적으로 海水面이 오늘날 보다 100m 이상 낮아 黃海는 乾陸 상태에 있었고, 간월도층의 결빙구조는 당시 寒冷氣候 하에서 형성된 것으로 추정되기 때문이다. 따라서 간월도층은 最終 氷期동안 한반도 서해안에 나타났을 한랭기후의 특징을 파악할 수 있는 주요 단서들을 지니고 있다고 할 수 있다. 본 연구는 結水構造 중심의 간월도층의 堆積後 變形相을 파악하여 당시 古環境의 특징을 밝히려는 것이다.

본 연구는 간월도층의 構造와 層相(facies)의 특징이 파악된 바탕 위에서 粒度分析과 偏光顯微鏡을 이용한 퇴적층의 微視的 組織(fabric)分析, 試錐資料 관찰 및 炭素年代 測定 등의 결과를 이용하여 수행되었다. 이 중 퇴적층 조직과 층서 체계는 간월도층에 대한 김여상·박용안(1988)의 기존 연구에서 제시된 입도분석과 시추자료 관찰 결과를 통하여 파악하였다. 여기서 제시된 제반 정보는 직·간접적으로 본 연구를 추진할 수 있는 바탕이 되었다. 그리고 본 연구에서 간월도층의 결빙구조 및 한랭환경에서의 층의 변형과정을 체계적으로 밝히기 위해서는 특히 편광현미경을 통해 간월도층 微組

織의 특징을 파악하는 것이 필연적으로 요구되었다. 이를 위한 방법 및 미조직의 記述에 필요한 용어들은 R. Brewer(1964), E.A. FitzPatrick(1984, 1993)이 제시한 것에 의존했다.

### 看月島층의 層序的 特徵과 分布

천수만의 현세 조간대층 하위에 나타나는 간월도층의 존재는 김여상·박용안(1988)의 선행연구에서 潮流路(tidal channel) 또는 潮流細谷(tidal gully) 주변을 따라서 노출되는 단면과 시추 자료에 의해 확인되었다. 조간대에서 간조 시에 노출된 단면에서 확인된 이 층의 두께는 60~200cm 정도로 얇은 편이다.

간월도층은 대부분 니토로 이루어졌지만 일부 砂質 입자를 포함한 부분도 나타난다. 평균 입경은 5~10 $\mu$  ( $\phi$  scale 7~8에 해당) 정도이며 分級이 매우 불량한 편이다. 그러나 하부에는 사질 니토층, 상부에는 니토층이 나타나고 있어 上向 細粒化 경향을 보인다. 이 층들은 전반적으로 準固화되어 있고 褐色을 띠는 부분이 많다. 부정합으로 덮히는 이 층은 현세 조간대층에 의하여 층서적 위치나 層相(facies)이 뚜렷한 차이를 나타내고 있다.

간월도층과 현세 조간대층과의 부정합면은 조류로의 경사면을 따라 관찰된 단면에서는 약 1.5m 정도의 기복을 보이며 여기에는 준고화된 간월도층의 성분으로 된 조립실트, 게 구멍화석 및 탄화된 식물조각이 포함되어 있다.

이러한 간월도층의 分布 및 空間的 配列은 제한된 시추자료와 노출단면으로는 만족스럽게 파악될 수 없다. 따라서 海底地層 探查資料를 보완함으로써 이에 대한 개략적 윤곽이 추정될 수 있다. 현세 조간대층 아래에 준고화된 간월도층 상부면은 해저 지층탐사에서 音響反射面과 일치하기 때문이

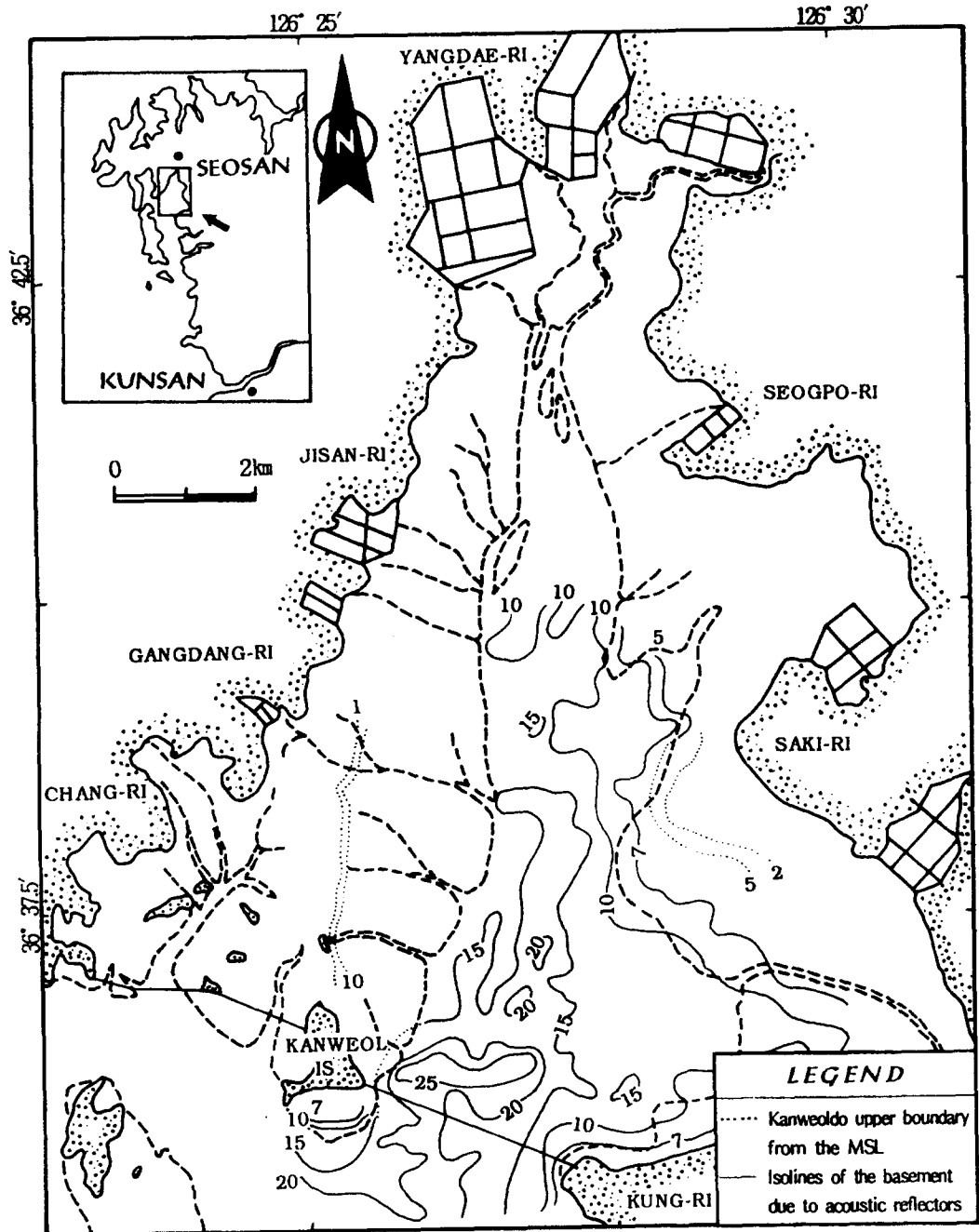


Fig. 1. Coastal forms and isolines of submarine acoustic reflection(Cheonsoo Bay)

다(김여상·박용안, 1984).

노출된 단면 관찰, 시추자료 및 해저 지층탐사자료를 종합하면 간월도층은 천수만 해저의 여러 곳에서 해저지형의 거시적 윤곽과 거의 일치하며 현세 조간대층 아래에 분포되어 있다.

시추결과에 의하면 천수만 대부분의 지역에서 低潮線 쪽으로 1~2km까지는 간월도층이 2~3m 깊이로 나타나고 있어서 완만한 경사를 지닌다. 해저지층 탐사자료(국립지리원, 1977)에 의하면 음향반사면은 천수만의 모든 지역에서 나타나며 主潮流路에서는 평균해수면 아래 10~29m 깊이에서 나타난다.

#### 야외 조사에서 파악되는 간월도층의 구조 및 단면 특성

간월도층에는 부분적으로 일차 물리적 퇴적구조라고 할 수 있는 교호층리, 렌즈상층리 및 프라저 층리 등이 나타난다. 이들은 특히 사질 니토와 니토가 층리를 이루는 부분에서 잘 나타나는 경향을 보인다. 그러나 무엇보다도 간월도층을 특징지워주는 구조는 일차 퇴적구조라고 볼 수 없는 불규칙한 波形의 葉狀構造이다. 이 구조는 간월도층의 상부 단면에서 거의 일반화되어 발달하고 있다.

간월도층의 엽상구조는 2~8mm 정도의 간격으로 배열된 수평방향 crack들에 의해 나타나는 구조이다. 조금 자세히 관찰하면 이들은 일차 퇴적구조에서 볼 수 있는 층리와는 달리, 수평방향으로 불규칙하게 짧게 갈라진 Craek들이 연결(연결이 안된 경우는 인접하여 배열)된 모습으로 발달되어 있다. 불규칙한 과형으로 발달된 이들은 인접한 것들과 서로 만나기도 하고 또는 분기하는 모습을 나타내므로 부위에 따라서는 수평방향으로 늘어 놓은 망의 모습을 그리기도 한다. crack의 아래면과 윗면은 접촉되

어 있지 않고 약간 벌어져 있다. 시료 채취 과정에서 확인한 바에 의하면, 이 crack의 면들은 울퉁불퉁한 경향을 나타낸다. 이러한 수평 방향의 crack들은 30~50cm 이상 불규칙한 간격으로 떨어져 있는 수직 방향 crack에 의해 잘려 있다. 이렇게 crack들이 많이 발달했는데도 간월도층은 등산용 칼이 안 들어갈 정도로 단단하게 고화되어 있다.

간월도층 상부에서는 生痕構造와 탄화된 식물의 뿌리도 관찰된다. 생흔구조는 직경 3~4cm 정도의 수직방향으로 굴곡진 구멍(burrow)으로 되어 있고, 여기에는 주위 퇴적물과 같은 粒度의 성분으로 채워졌는데, 계에 의해 만들어진 것으로 해석되었다(김여상·박용안, 1988). 그리고 탄화된 식물 뿌리는 탄소연대 측정에서 16708년( $\pm 250$ 년) B.P.의 것으로 보고되었다(박용안, 1994). 이들 탄화된 식물 유해 주변의 니토는 검게 착색되어 있는 경우가 많다.

간월도층은 대체로 갈색 내지 연한 적갈색을 띠고 있으며, 회색 내지 회백색을 띠는 부위도 많지만 등질성을 보이지는 않는다. 자세히 관찰하면 갈색 내지 연한 적갈색 바탕에 회백색의 얼룩이 있거나 또는 회백색 바탕에 적색 또는 연한 적색의 반점 및 얼룩이 나타나는 예도 많다. 이러한 얼룩들은 바탕을 이루는 색과 뚜렷한 대조를 이루는 경우도 있지만, 색의 변화가 점이적인 경우가 훨씬 많다.

한편 엽상구조를 이루는 crack들의 면은 검은색의 colloid(유기물,  $MnO_2$ ,  $Fe_2O_3$  등이 복합된)로 皮膜(coating)되어 있는 예가 많다. 이런 경우 단면 관찰에서는 이 crack들이 검은 선으로 나타나고 있어서 간월도층의 바탕색과 대조를 이룬다. 30~50cm 이상의 불규칙한 간격으로 나타나는 수직방향 crack의 경우는 그 주위가 대체로 회백색을 띠고 있지만, crack면에는 검은색 colloid들이 피막된 모습을 지니고 있는 예가 많다.

현세조간대층  
(3,800 B.P.)

(부정합) —————

간월도층  
( $25,060 \pm 220$  B.P.  
또는 23,000B.P.의  
Age에 해당하고  
LGM 기간에  
대기권 노출)

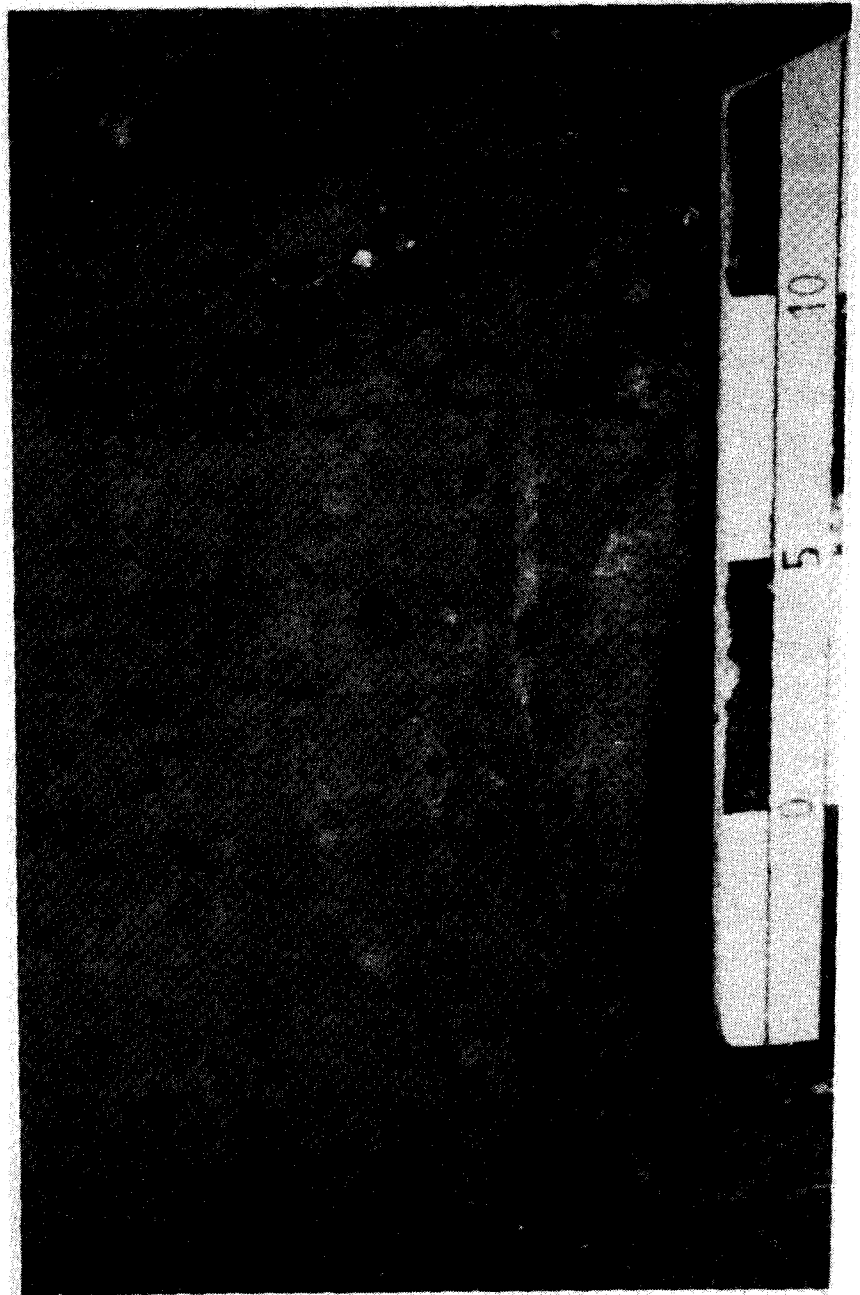


Photo 1 — Kanweodo deposit overlain by actual Holocene tidal deposit

## 간월도층의 미시적 조직

편광현미경으로 관찰하면 엽상구조를 이루는 crack들은 수평방향의 하도형(channel), 초생달형(crescent), 렌즈 모양의 空隙 또는 선형으로 배열된 공극 등으로 나타난다. 이러한 crack들에 의해 만들어진 葉層은 구성 물질이 매우 치밀하게 압축·고화되어 있다. 야외조사에서 이러한 엽상구조를 자르고 있는 수직방향 crack은 연직방향의 하도형 공극으로 관찰된다.

엽층은 세립 실트 입자들이 콜로이드 상태의 미립 물질과 함께 치밀하게 조직되어 있다. 특히 石英質 실트의 대부분은 불규칙하게 산포되어 있다. 이들 석영질 입자와 콜로이드 상태의 미립물질들의 조직과 배열은 등질적이지 않다. 부분에 따라서 실트와 세립사 입자 및 미립물질들이 다양한 형태로 몰려 있다.

### 1. 엽층의 조직

엽층의 조직은 저배율에서 관찰하면 準土粒(discrete aggregate)<sup>1)</sup> 상태의 glaebule<sup>2)</sup> 또는 fecal pellet<sup>3)</sup> 형태의 pedorelict<sup>4)</sup>들과 cluster들이 선상으로 조밀하게 배열되어 엽층을 이루고 있는 모습으로 나타난다. 이들은 콜로이드성 미립물질 및 조립물질(실트 및 세립 모래)의 배열, 이와 관련된 色의 差異로 인해 쉽게 인식될 수 있는데, 대체로 1mm를 넘는 球形의 형태를 지니고 있다.

#### 1) 준토립의 내부조직

Glaebule 또는 fecal pellet 기원의

pedorelict들은 철분, 망간, 유기물들이 불규칙하게 복합, 응결된 모습을 지니고 있어서 연한 황적색에서 적갈색 및 검은색에 이르는 다양한 색이 경계가 선명치 않은 얼룩진 모습이나 반점의 모습으로 불규칙하게 나타난다. 이들과 주변 물질과의 경계는 매우 선명한 것도 있고 선명도가 다소 약한 것도 있지만 대체로 뚜렷하다. 이 pedorelict들 내부의 니토와 모래 입자들은 주변과 다른 모습으로 불규칙하게 배열되어 있다. 그리고 이들 주변에는 이들에게 떨어져 나온 미세한 조각들(니토, 가는 모래 크기)이 많이 관찰되는데 대체로 원마된 모습을 지니고 있다.

Cluster 상태로 인식되는 準土粒은 조립 실트, 세립사, glaebule와 fecal pellet에서 떨어져나온 흑적색 조각들의 장축이 원형의 방향성을 보이며 배열되어 있어서 쉽게 식별된다. 그리고 콜로이드 상태의 미립물질들도 주변에 비하여 상대적으로 높은 밀도로 집결되어 있다. 이들의 색은 대체로 glaebule 및 fecal pellet 기원 준토립에 비하여 옅은 색을 띠고 있다. 옅은 적황색 바탕이 우세하며 이 위에 적갈색 얼룩 및 무늬가 초생달 모양으로 또는 불규칙하게 나타나기도 한다. 따라서 cluster는 중심에서 외곽 쪽으로 가면서 구성물질들이 원형의 외곽과 평행으로 층을 이루는 모습을 보이기도 한다. Cluster의 외곽 경계는 glaebule 또는 fecal pellet 기원의 준토립의 경우와는 달리 선명치 않거나 점이적으로 나타나는 예가 많다. 이것은 cluster 외곽에서 주변으로 가면서 미립물질의 밀도가 낮아지거나

1) Discrete aggregate-토립의 모습을 지니고 있지만 이를 둘러싸고 있는 주위 물질들과는 공극에 의해 차단되지 않고 연속되어 있는 경우에 사용하는 표현이다. 이는 공극이나 Crack 등에 의해 경계가 인식되는 토립(Aggregate)과 구분하기 위하여 R. Brewer(1964)과 E.A. FitzPatrick(1984, 1993)가 사용한 표현이다.

2) Glaebule-토양 내에서 주변 물질과는 다르게 특정한 물질이 집결되어 형성된 작은 구형 및 달걀 형태의 작은 덩어리로 현미경을 통해서만 그 경계가 선명하게 인식된다.

3) Fecal pellet-동물에서 배설된 유기물과 관련되어 특정 물질들이 동물이 서식한 공극에 집적된 모습

4) Pedorelict-현재 관심을 가지고 관찰하는 토양이나 퇴적층이 형성되기 이전에 있었던 토양형성작용에서 형성된 요소

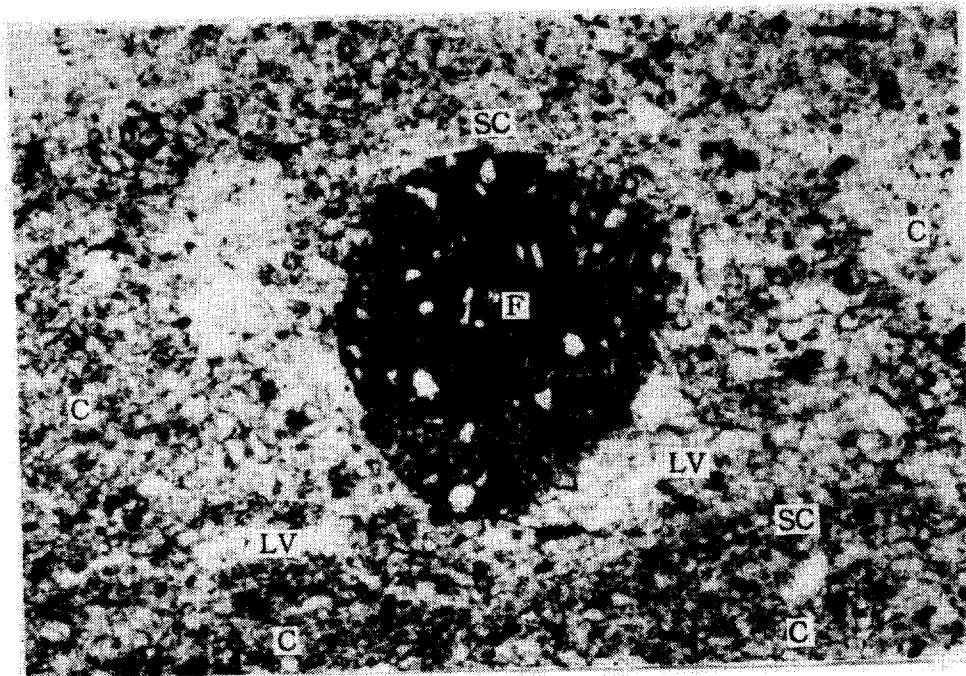


Photo 2 - Micromorphological image of Kanweoldo deposit(x 40, 가로폭 1.4mm)

F : Rounded fecal pellet C : Cluster type discrete aggregate  
 SC : Silt cap LV : Lens type void constituting wavy crack

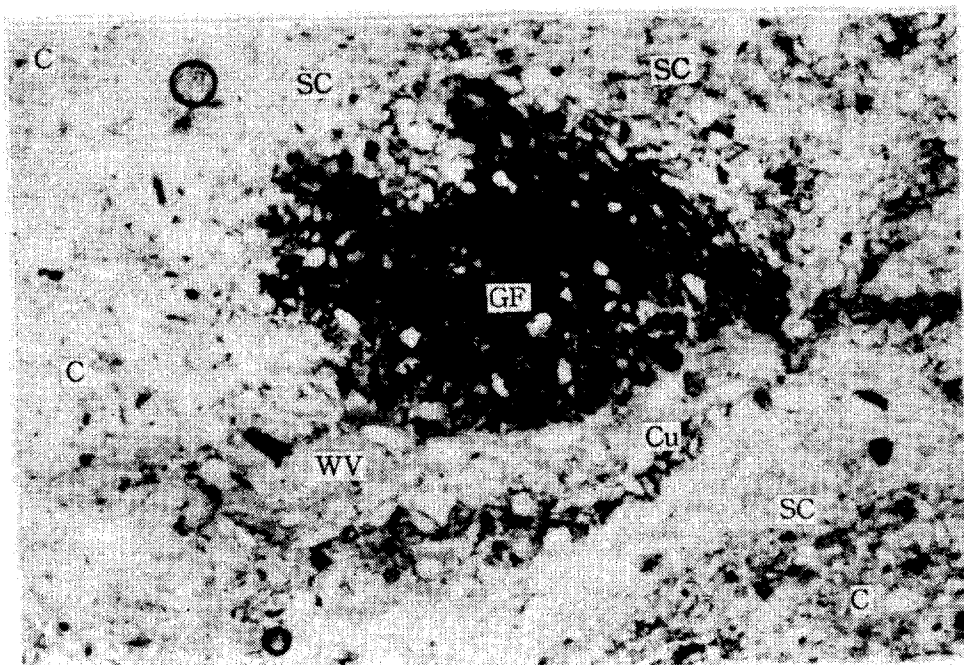


Photo 3 - Lamellae and interlamellar crack under microscope(x 40, 가로폭 1.4mm).

GF : Glaebule or fecal pellet(?) C : Cluster type discrete aggregate  
 WV : Wavy channel type void Cu : Cutan



또는 조립 물질(skeleton)의 배열이 원형의 방향성을 띠지 않게 되는 것으로 식별되는 예가 많다.

## 2) 준토립을 포함한 Matrix

간월도층의 엽상구조에서 엽층을 따라 조밀하게 열상으로 배열된 두 종류의 준토립(discrete aggregate)들은 silt cap<sup>5)</sup>으로 덮여 있다. 이 silt cap은 준토립 윗면을 덮고 실트 중심의 미립물질이 매우 치밀하게 집결되어 있는 부분을 말한다. 이것의 구성물질들은 준토립 윗부분 윤곽과 평행으로 배열되어 있으며 입도는 아래에서 위로가면서 점이적으로 커지는 경향을 보여 마치 inverse graded bedding을 연상케 한다. 반면 이러한 준토립 아래 부분의 matrix에서는 silt cap으로 인식되는 물질 배열이 나타나지 않는다. 여기서는 구성 물질들이 다소 불규칙하게 배열되어 있고, 미립물질의 밀도도 낮아 원마된 준토립의 아래면이 직접 엽상으로 쪼개진 수평방향 crack의 벽을 이루는 예도 많다.

한편 엽층을 따라 촘촘히 배열된 준토립들 사이에는 상대적으로 굵은 니토 및 모래 입자들이 다소 이완된 모습으로 수직 또는 준토립 측면의 원형 외곽과 평행으로 배열되어 있다. 그리고 미립물질들의 밀도는 낮다. 야외에서 볼 수 있는 간월도층을 수직 방향으로 자르는 넓은 간격의 crack들이 현미경 하에서는 이런 부분에 나타난다.

## 2. Crack 및 공극을 따라 나타나는 콜로이드 집적

야외 관찰에서 간월도층의 결빙동토구조(cryoturbation) 엽상구조를 이루는 수평방

향 crack와 이를 넓은 간격으로 자르는 수직방향 crack면에는 콜로이드들이 도색되어 있다. 현미경 하에서는 이 모습이 대체로 다음 두 종류의 층이 겹친 형태의 cutan<sup>6)</sup>으로 나타난다. 하나는 적색 및 적갈색을 띠는 층이고, 다른 하나는 연한 황색 및 적황색을 띠는 층이다.

수평방향 crack을 따라서는 적색 및 적황색을 띠는 층은 아래 쪽 crack면을 따라 또는 이보다 약간 아래 엽층 윗 부분에서 구성물질 조직이 약간 이완된 부위의 공극에 나타난다. 현미경 관찰에서 나타난 이들의 배열 모습은 수평방향으로 펼쳐진 파랑상의 band를 이루기도 한다. 연한 황색을 띠는 층은 이 위에 덮여 있으며, 대체로 적색 및 적황색층보다 두껍다.

수직방향 crack은 넓은 편이고, 여기에 집적된 미립물질의 양도 많다. 이곳에 나타나는 cutan에서는 연한 황적색층이 두껍게 나타난다. 그러나 수직방향 crack이 기울어진 경우 아랫 쪽 면을 따라서는 적갈색층이 발달해 있다.

이상의 간월도층의 crack을 따라 오늘날 수분이 통할 수 있는 통로는 연한 황적색층이 crack 방향으로 쪼개진 틈, 황적색층과 적갈색층, 또는 황적색층과 위쪽 crack면과의 경계선을 따라 channel 형태로 나타난다. 그런데 적갈색층은 미립물질이 매우 치밀하게 집적된 것이어서 이것을 파괴하면서 발달한 channel 모양의 공극은 찾아보기 힘들다.

## 간월도층의 퇴적후 변형 과정

간월도층은 입도 조성, 생흔, 잔존하는 일

5) Silt cap-토립 또는 굵은 모래일 등의 윗면에 초생달 모양으로 덮여 있는 실트 중심의 치밀한 미립물질층. 이것은 토양의 결빙이 활발한 아극지역 토양에서 잘 나타나고 제4기 결빙작용이 활발했던 지역의 토양에서도 화석화 되어 나타나고 있다.

6) Cutan-토양수에 의해 이동된 물질이 空隙壁(void surface)이나 굵은 입자 및 토립의 밀부분에(solid grain and aggregate surface)에 집적된 것. 이것은 현미경을 통해 인식된다.

차적 퇴적구조 등을 종합하면 Würm 간빙기 당시의 조간대에서 퇴적되었다(김여상·박용안, 1988). 그러나 Würm 빙기가 도래하여 전세계적으로 해수면이 현재보다 약 100m 이상 낮아 황해가 건육상태에 있었을 당시의 고기후와 관련된 subaerial processes에 의해 간월도층 원래의 퇴적구조와 구성물질 조직이 많이 변형되었다.

원래의 퇴적층이 변형된 모습은 노출된 단면에서는 엽상구조를 이루는 치밀한 간격의 수평방향 파형 crack들, 이들 crack 면에 도색된 콜로이드 피막, 미립물질 재배치와 관련된 적갈색-회백색에 이르는 얼룩 등으로 나타난다. 그리고 현미경 하에서 나타나는 미시적 조직에서는 구형으로 원마된 glaebole 또는 fecal pellet, 구성 물질이 중심원상 배열을 보이며 응결된 cluster 타입의 準土粒, 이 위를 덮고 있는 silt cap, 연한 적황색 또는 적갈색 cutan 등으로 표출되고 있다.

퇴적 후의 변화상으로 나타나는 이상의 요소들은 지형과 토양에 관심을 가진 대다수의 학자들에 의해 토양의 결빙과정에서 생성된 것으로 입증된 엽상구조, silt cap 등(Bertouille, 1972 ; Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1981, 1984 ; Langhor, 1985 ; Oh, 1985, 1987 ; 권순식, 1987 ; 오경섭, 1989 ; 오경섭, 김남신, 1994)과 관련되어 있다. 이러한 사실은 간월도층의 퇴적후 변형은 주로 황해가 건육상태에 있었던 Würm 빙기 한랭 기후의 영향 하에서 이루어졌음을 의미한다. 따라서 간월도층에서 나타나는 거시적·미시적 구조 및 조직의 특색은 당시 한랭기후의 특징을 더욱 구체적으로 파악케하는 실마리가 된다.

#### 1. 엽상구조는 지속적 한파에 의한 결빙 작용 및 한랭·습윤한 환경

토양의 결빙은 한파가 지표에서 토양 속으로 침투하면서 진행된다. 이 때 빙점에

해당하는 한파가 미친 곳(결빙전선, freezing front)에서는 얼음 결정 핵이 형성되며 이 결정 핵 쪽으로 결빙전선 바로 아래 부분의 수분이 이동해와 얼음 결정은 바늘 또는 렌즈 모양의 토빙으로 성장한다. 결빙전선 바로 아래 부분의 수분이 고갈되면 토빙의 성장은 멈추게되고 결빙전선은 계속 진전하면서 이미 토빙이 형성된 부위보다 아래에 새로운 토빙을 생성시킨다. 따라서 한파가 미친 부위까지의 토양 단면에는 토양의 수분이 바늘 모양 또는 렌즈 모양으로 응집 결정화(ice segregation)된 모습으로 분포하게 된다 (Corte, 1960, 1962 ; Bertouille, 1972 ; Pissard, 1970 ; Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1984).

토빙의 형성은 근본적으로 한파가 존재해야만 가능하지만 이의 형태와 단면 내 분포양상은 주로 토양의 수분함량과 입도조직(texture)의 요인이 복합적으로 작용하여 결정된다.

토양의 수분 함량과 관련해서 보면 습토에서는 토빙이 렌즈 모양으로 형성되고 ice lens들이 토양 단면에서 치밀한 간격으로 배열되는 경향이 있다. 반면에 수분 함량이 적은 토양에서는 바늘 모양의 토빙이 불규칙하게 낮은 밀도로 분포한다(Cailleux *et al.*, 1954 ; Tricart *et al.*, 1967 ; Bertouille, 1972 ; Pissard, 1970 ; Van Vliet-Lanoë, 1985 ; Oh, 1985).

그런데 점토질 토양에는 수분 함량이 높다해도 공극이 매우 작아 얼음 결정핵 쪽으로 인근의 수분이 원활히 이동 하지 못해 많은 수분을 필요로 하는 렌즈 모양의 토빙은 형성되지 않는다. 이 경우는 작은 needle ice가 높은 밀도로 불규칙하게 발달한다. 반면에 니토와 미립 모래가 많은 토양은 기후가 습윤하다면 보수력도 높고 결빙시에 렌즈 모양의 토빙이 높은 밀도로 분포할 수 있는 공극체계를 지니고 있다. 반면에 사실 토양의 경우는 수분이 거의 포화

상태에 이르렀을 경우에만 렌즈 모양 토빙이 생성된다.

이상과 같이 토양의 수분이 집결하여 얼음으로 결정화될 때는 이온, 콜로이드, 미립 물질들이 얼음 결정체 밖으로 추방되는 경향이 있다. 따라서 성장하는 토빙은 주변에 매우 높은 압력을 가하게 된다. 이로 인해 토빙 주변부는 수분 탈거와 성장하는 토빙에서 오는 압력이 모두 작용하여 매우 단단하게 고화된다. 그리고 토빙이 성장한 자리는 이것이 녹은 후에도 쉽게 메워지지 않는다. 특히 렌즈 모양 토빙이 높은 밀도로 발달하는 경우는 수 만년이 지나더라도 쉽게 결빙작용을 받기 이전 상태로 복원되지 않는 경향을 지니고 있다.

따라서 오랜 기간 습윤한 상태에서 결빙작용을 받은 토양에는 반복하여 토빙이 형성된 자리가 크랙 또는 렌즈 모양 공극으로 남게 된다. 그리고 토빙과 토빙 사이의 물질은 고화된 상태로 오랜 기간 남아 있게 된다. Mass-movement, 생물활동, 토양형성작용 등에 의한 교란(turbation)이 없다면 수만년 이상도 지속된다(Van Vliet-Lanoë, 1985 ; Oh, 1985, 1987).

간월도층의 엽상구조는 불규칙한 파형의 크랙들과 이들 사이의 단단한 엽층으로 특징지워 지는데, 이는 한랭한 기후 하에서 결빙작용(cryoturbation)을 받은 결과이다. 특히 간월도층은 실트 및 세립사로 구성된 층이므로 함유된 수분만 많다면 ice lens들이 치밀한 간격으로 배열될 수 있는 조건을 지니고 있다. 그런데 이러한 엽상구조는 국지적인 것이 아니라 연구지역의 모든 단면에서는 물론 타지역의 지표 피복물에서도 많이 나타나므로 습윤한 상태의 한랭 기후의 영향으로 해석된다.

한편 간월도층에서 나타나는 넓은 간격의 수직 크랙도 습윤한 한랭 환경에서 결빙작용을 받았을 때의 ice crack으로 사료된다. 이러한 수직 방향 crack은 한파가 강하고

오래 지속될 때 발달하는 것이다. 일반적으로 토양이 결빙되는 초기에는 부피가 팽창하지만 한파가 강하게 오래 지속되면 팽창된 상태의 토양은 약간 수축되는 경향이 있는데, 이 때 vertical crack, ice wedge 등이 생성된다(Bertouille, 1972 ; Washburn, 1979 ; Oh, 1985 ; 오경섭, 김남신, 1994).

따라서 최종 빙기에 대기권 노출 상태에 있었던 간월도층이 동토·결빙작용에 의한 결과로 엽상구조와 수직 방향 crack이 발달했음은 오랜기간 강하게 지속된 한랭·습윤한 고환경이 당시에 존재했음을 의미한다.

## 2. 엽상구조에서의 준토립과 silt cap의 생성, cryophoresis, frost creep 및 cryoturbation

간월도층 葉狀構造의 葉層은 매우 치밀하게 壓縮·固化되어 있으며 이는 수평 방향의 선상으로 배열된 구형의 준토립과 이것을 silt cap이 덮고 있는 모습을 이룬다. 이러한 微組織은 결빙작용에 의한 엽상 구조에서 흔히 나타나는 것으로 퇴적학적으로는 설명될 수 없다.

엽상구조는 실험과 이론으로는 단 몇회의 결빙-용해의 반복으로도 생성될 수 있다. 그렇지만 실제 자연에서 간월도층에 발달한 것과 같은 엽상구조는 오랜 기간에 걸친 結氷-融解의 반복으로 만들어졌다. 이렇게 생성된 엽상구조는 오랜 기간이 지나도 결빙작용을 받기 이전 상태로 쉽게 복원되지 않는다. 결빙과 용해의 반복으로 이러한 엽상구조가 발달되는 과정에는 解氷期의 mass movement와 結氷時에 성장하는 土氷이 주위에 미치는 압력이 아직 결빙이 안된 부위에까지 미침으로서 야기되는 攪亂이 있기 마련이다.

이 교란작용은 엽층을 여러 토막으로 분화시키고 또 이 분화된 토립을 원마시키기도 한다. 엽층에 나타나는 준토립들의 형태가 구형인 것은 바로 이러한 교란작용들이

있었기 때문이다. 구형의 *glæbule* 또는 *fecal pellet*는 엽상구조가 생성되기 이전 환경에서 만들어진 *pedorelict*가 결빙과정에서의 교란작용으로 원마뫼로서 엽층의 조직속에 포함된 것이다. 그리고 *cluster*들은 결빙과정에서 미립물질들이 구형으로 응집되어 준토립화된 것이며 교란이 심할때는 약간의 원마작용을 받은 모습이라고 할 수 있다.

한편 이러한 엽상구조가 생성되는 과정에는 결빙시 결빙전선을 따라 토양의 미립물질들이 이동하는 현상(*cryophoresis*)이 누적 반복되며 이는 이상의 준토립을 덮고 있는 *silt cap*으로 나타난다. *Silt cap*은 *cryophoresis*에 의해 이동되는 미립물질이 이들의 이동을 허용치 않는 물체(*ex.* 단단한 토립, 굵은 모래알...) 위에 집적된 모습이다. 이것은 극지역, 제4기에 한랭환경 하에 있었던 지역의 토양 및 지표 피복물에서 많이 나타난다(Harris, 1981, 1985; FitzPatric, 1985, 1993; Van Vliet-Lanoë, 1976, 1985). 그리고 이것의 발달은 토양에 대한 반복된 냉동 실험에서도 입증되었다(Corte, 1963, 1966; Bertouille, 1972, Pissard, 1970, Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1984).

*Cryophoresis*에 의해 미립물질이 집적됨으로서 형성된 *silt cap*은 토양수에 의해 이동·집적된 것과는 뚜렷이 구분된다. 결빙작용에 의한 미립물질 집적은 주로 *solid surface*(굵은 석영모래알, 단단한 토립 등의 면)에 이루어지며, 집적된 물질은 토빙 형성 시의 水分 奪去와 성장하는 토빙으로부터의 압력이 상승 작용하여 매우 치밀하게 압축·고화되어 있다. 그리고 집적된 물질은 모자 모양을 이루고 있으며 입자들의 크기는 *solid surface*에서 위로 가면서 점차적 커지는 경향을 보인다(*inverse grade bedding*을 연상케 함). 반면, 토양수에 의한 미립물질의 집적은 주로 수분이 통하는 통로

(空隙) 벽에 *cutan* 형태로 나타나며 여기에는 충리들이 발달한다. 따라서 간월도층에서 나타나는 *silt cap*은 적어도 한랭 지역의 지형과 토양을 전공하는 학자들 간에는 이론의 여지가 없이 결빙작용의 결과로 받아들여지고 있다.

이상에서 언급된 사실을 종합하면 간월도층 엽상구조의 엽층이 치밀한 조직을 지닌 구형의 준토립들과 이 위를 덮고 있는 *silt cap*으로 구성되어 압축·고화되어 있음은 결빙작용과 관련된 일련의 현상, 즉 *cryophoresis*, 얼음 결정이 커지기 위해 주변의 수분을 끌어오는 현상, 렌즈 모양으로 성장하는 얼음이 주변에 미치는 압력, *frost creep*, *cryoturbation* 등이 상호작용한 결과라고 할 수 있다.

### 3. 간월도층에 나타나는 검은색-적갈색-황적색-회백색의 얼룩, 반점과 한랭·습윤한 환경에서의 *gleyzation* 및 *pseudo-gleyzation*

한랭 환경에서의 결빙작용으로 변형된 간월도층은 대체로 적갈색을 띠고 있지만 이것은 등질적이지 않다. 부분에 따라 검은색, 회백색 얼룩, 반점, 무늬 등이 바탕색과 선명한 경계를 이루지 않고 나타나고 있다. 이러한 토색의 변화는 특히 산화된 상태에서 적색을 띠는 철분, 검은 색을 띠는 망간 성분, 부식·탄화된 유기물 등이 이동되었음과 관련되는데, 이는 간월도층의 구성 물질들이 *cryophoresis*뿐만 아니라 토양수의 작용으로도 재배치되었음을 의미한다. 즉 土壤形成作用(*pedogenesis*)에 의한 퇴적후 변형 과정도 있었다.

亞間水期 조건대 환경에서 퇴적된 것으로 간주되는 간월도층에 대체로 적갈색이 우세하게 나타나고 있음은 Würm 빙기가 도래하면서 대기에 노출되어 철분과 망간 성분이 산화·결정화되어 부식·탄화된 유기물들과 함께 복합체를 이루기 때문이다. 그러나

이들은 단면 내에서 재배치되어 부위에 따라서는 회백색 얼룩과 무늬들이 나타나고 있다.

철분과 망간은  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$  상태에서는 토양수에 의한 이동이 불가능하다. 이들은  $pH < 3$  정도의 강산성 환경이 아니라면 토양수의 용해荷重(solution load)으로 될 수 없기 때문이다. 일반적인 자연 상태의 토양 및 지표 피복물이라면 다음 두가지 상태에서만 이동이 가능하다. 하나는  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ 가 유기질 콜로이드와 복합체(organo-metallic complex) 또는 chelate가 되면서 準溶解(pseudo-soluble) 荷重상태로 이동하는 것인데 이는  $pH$ 가 4-5 정도의 환경에서 제한적으로 이동하는 결과를 가져온다. 다른 하나는  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ 가 환원된 상태(3가의 철분이 2가의 철분으로된 상태, 4가의 망간이 2가의 망간으로 된 상태, 즉,  $FeO$ ,  $Fe(OH)_2$ ;  $MnO$ ,  $Mn(OH)_2$ )인데, 이 경우는 환원된 철분과 망간이 쉽게 물에 녹아 용해 하중으로 이동된다(Segalin, 1964; Duchaufour, 1982). 이러한 상태의 철분과 망간 이동을 수반하는 토양형성작용을 gleyzation이라고 한다. 환경과 관련시켜 보면 전자는 토양의 과습윤 상태가 제한적으로 나타나는 냉량한 기후 하에서, 후자는 통풍이 불가능할 정도의 과습윤 상태가 빈번한 한랭·습윤 기후와 관련되어 잘 나타난다(Duchaufour, 1982; Oh, 1985; Oh *et al.*, 1987; 오경섭, 1989; 오경섭, 김남신, 1994). 물론 후자의 경우는 지하수층과 관련된 국지적 요인에 의해서도 나타날 수 있다.

이상의 사실을 종합하면 간월도층의 철분과 망간 성분이 이동·재배치 되어 회백색의 무늬와 얼룩이 나타남은 주로 토양의 과습윤 상태가 빈번한 한랭·습윤 기후 환경과 관련된 gleyzation 또는 pseudo-gleyzation의 결과로 사료된다. 이것은 어느 특정 단면과 구역에서만 인식되는 모습이 아니라

간월도층에서 일반적으로 인식되는 현상이기 때문이다. 이 gleyzation이나 pseudo-gleyzation은 간월도층이 결빙-용해의 반복작용을 받았을 당시의 토빙이 용해된 상황에서 잘 진전될 수 있는 것이다.

간월도층에 엽상구조를 발달시킨 한랭·습윤 환경에서 특히 해빙기의 토양 과습윤 상태는 gleyzation 또는 pseudo-gleyzation 진전에 유리하다. 오늘날 툰드라 지역의 토양에서 회백색을 띠는 층과 얼룩이 많이 나타남은 바로 이런 이유 때문이다(FitzPatric, 1985, 1993; Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1985; Oh, 1985; Oh *et al.*, 1987). 간월도층이 결빙작용을 받았던 기간에도 예외는 아니었다고 본다. 간월도층의 경우도 최종빙기 한랭·습윤했던 기간에는 특히 지표 부분에서는 gleyzation이 활발했고, 이 이하의 지하에서는 이것이 다소 완화된 모습의 pseudo-gleyzation이 진전되었다. 당시 지표 부위에 발달한 gley는 현재조간대층이 퇴적되기 이전에 침식되어 현재 단면에서 관찰되는 것은 주로 pseudo-gley이다. 간혹 단면에 따라서는 층의 윗 부분에 회백색 층이 나타나는데 이것은 당시의 gley가 침식·제거되지 않고 잔존하는 것으로 사료된다.

그러나 야외 조사 및 현미경 관찰에 의하면 gleyzation과 pseudo-gleyzation은 간월도층에 결빙 구조가 발달한 후에도 진전되었음을 확인할 수 있다. 야외에 노출된 단면에서는 크랙들 면에 gleyzation 및 pseudo-gleyzation과정에서 이동된 철분, 망간 등이 집적·산화되어 적색-검은색으로 塗色되어 있음이 뚜렷하게 나타난다. 현미경 하에서는 결빙작용으로 압축·고화된 엽층에서도 철분, 망간 성분이 빠져나가 구성물질이 느슨하게 이완된 조직을 보이는 예들이 있는가 하면 결빙작용으로 생성된 crack을 따라서 이들이 집적된 모습의 cutan들이 나타난다. 이러한 사실들은 결빙작용으로 생성된

엽상구조가 gelyzation으로 약간 퇴화된 모습이라고 할 수 있다.

### 간월도층의 제4기 후기 고환경 : 결론

Würm 빙기 중의 아간빙기의 조간대층인 간월도층은 현재 조간대층과 유사한 환경에서 퇴적되었음에도 層相이 뚜렷한 차이를 보이는 것은 간월도층은 퇴적후 최종빙기(Würm)에 황해의 전육 당시 대기권에 노출되어 일련의 변형과정을 겪었기 때문이다. 따라서 간월도층에는 일반적인 조간대층에서 볼 수 없는 적색-적황색 바탕색, 불규칙한 파형의 엽상구조와 함께 구성물질이 압축·고화된 모습, 회백색 얼룩 등이 나타난다. 이러한 변형상은 현재 조간대층이 퇴적되기 이전의 천수만 일대의 고환경을 해석할 수 있는 귀중한 정보를 제공한다.

1) 간월도층이 적갈색-적황색 바탕색을 띠고 있음은 퇴적후 대기에 노출되면서 원래 퇴적 당시에는  $Fe(OH)_2$ ,  $Mn(OH)_2$  상태로 있던 것과 층을 구성하는 물질 일부가 풍화됨으로서 배출된 철분 및 망간 성분이 산화되고 결정화된 결과이다. 이러한 지하학적 과정은 기후가 다소 건조하거나 최소한 긴 건기를 포함한 기후 환경에서 나타날 수 있는 현상이다. 이는 간월도층에 엽상구조를 발달시킨 한랭·습윤한 기후가 도래하기 이전의 고환경에 해당한다.

2) 엽상구조를 특징지워주는 불규칙한 파형의 수평방향 크랙들은 층에 함유된 수분이 치밀한 간격으로 배열된 렌즈 모양의 土氷으로 응결·결정화되면서 생성되었다, 이러한 엽상구조가 발달하는 과정에서 크랙과 크랙 사이 엽층의 미조직은 구형의 준토립과 이위를 덮고 있는 silt cap의 생성과 함께 구성 물질들이 압축·고화되었다. 이러한 미조직의 변형은 토양의 결빙 과정에서 수반되는 일련의 현상, 즉 cryophoresis, 얼음 결정이 커지기 위해 주변의 수분을 끌어

오는 현상(cryo-suction), 렌즈 모양으로 성장하는 얼음이 주변에 미치는 압력, frost creep, cryoturbation 등이 상호작용한 결과이다.

원래의 간월도층이 결빙작용에 의해 이상과 같이 변형된 것은 토양이 습윤한 상태를 유지할 수 있으며 지하 5~6m 이상의 깊이 까지도 결빙되는 습윤하고 지속적인 한파가 존재하는 한랭·습윤 환경에 의하여 지배된다. 이와 동시대로 추정되는 탄화된 유기물은 炭素年代測定으로 약 16,708년 전의 것으로 규명되었다. 이는 전국리 용암대지를 덮고있는 풍적토에서 결빙구조와 구석기 유적이 출토된 층위를 대비시켜 Würm 빙기 후기에 토양이 깊이 결빙될 정도의 한랭·습윤한 古氣候가 한반도에 존재했다는 기존의 연구 결과와 일치한다.

3) 적갈색-황적색에 이르는 다양한 색감의 바탕에 강도가 일정치 않은 회백색 부위, 얼룩, 반점등이 나타남은 철분, 망간, 점토, 탄화된 유기물들이 토양수 작용으로 용탈, 이동, 집적되면서 단면내에 재배치된 모습이다. 이는 한랭·습윤한 환경에서의 토양형성 작용인 gleyzation 및 pseudo-gleyzation과 관련된다. 이러한 현상은 엽상구조가 발달했던 기간에는 물론 현재에 들어와서도 현재 조간대층이 퇴적되기 이전의 어느 기간에도 진전된 흔적이 나타났다. 이는 한반도에도 최종 빙기가 끝나고 현재에도 유럽의 Boreal(Nouveau Tundra)에 대응되는 냉량한 고기후가 존재했음을 시사한다. 이는 토탄, 화분, 규조, 지표 피복물 및 고토양 등에 대한 대부분의 기존 연구에서 얻은 결과와도 일치한다.

4) 본 연구는 한반도주변의 대륙빙이 최종 빙기의 대기권에 노출되었던 당시의 고환경을 체계적으로 밝히려는 초기의 연구라 할 수 있다. 해저 지층탐사 자료에 의하면 한반도 주변 大陸棚에는 간월도층에 대비되는 퇴적층들이 많은 지역에 분포하고 있는

것으로 해석되는바 이들에 대해서도 본 연구의 관점과 결과를 적용·비교하는 것은 한반도 해안 및 대륙붕과 관련된 제4기 연구에 매우 중요한 과제라고 생각된다.

## 사 사

본 연구의 논문발표에 많은 격려와 도움을 베푸신 한국제4기학회 회장단과 편집위원(논문심사)께 감사함을 표합니다. 본 연구는 한국과학재단의 연구지원(KOSEF 95-0703-02-01-3)의 일환으로 수행되었으며 저자들은 이에 감사하는 바이다. 즉 한국 서해안의 조수퇴적분지의 부정합, 층서 및 퇴적체 환경의 연구는 KOSEF의 연구지원이 매우 중요한 것이다.

## 참 고 문 헌

### ☒ 국내문헌

- 공우석, 1992, “한반도 식생 및 환경 변천사(홀로세 이전 시대를 중심으로)”, 『제4기학회지』 6, pp. 1-12
- 공우석, 1994, “홀로세 중 한국의 식생사”, 『제4기학회지』 8, pp. 9-22.
- 권순식, 1987, “한반도 화강암 풍화층에 발달된 제4기 후반의 주빙하결빙구조에 관한 연구”, 『지리학논문집』 별호 40.
- 권순식, 1986, “청주 화강암 풍화층의 화석 주빙하 결빙구조”, 『상당지리』 5, pp. 1-9.
- 권혁재, 1974, “황해안의 간석지 발달과 그 퇴적물의 기원”, 『지리학』 10, pp. 1-12.
- 국립지리원, 1977, “연안해역 지형 측량 보고서(천수만 해역)”, p.56.
- 김여상, 박용안, 1988, 한국 서해 천수만 간월도층에 발달한 제4기 현세 조간대층 하위의 간월도층 연구, 『제4기학회지』 2, pp.13-24.
- 박 경, 1987, “천리포 사구 내의 적황색 퇴적층에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- 박동원, 1985, “김제·정읍일대에 분포하는 퇴스상 적황색토에 대한 연구”, 『지리학』 32, pp.1-10.
- 박용안, 1992, “한국 황해(서해)의 프라이스토세 후기 및 홀로세의 해수면 변동과 기후” 『제4기학회지』 6, pp.13-20.
- 박용안, 이일상, 1987, 한국 서해안 서산만에 발달한 일부 조간대 퇴적층에 대한 퇴적학적 연구와 제4기 해양지질학적 고찰, 『제4기학회지』 1, pp.21-34.
- 배기동, 1989, “한탄강유역의 발달과정과 전곡현무암 위의 퇴적물의 연대”, 『제4기학회지』 3, pp.87-101.
- 이선복, 1988, “임진강유역 구석기 공작의 고생태학적 배경”, 『제4기학회지』 2, pp.25-50.
- 이용범, 1991, “대관령 일대 설석와지의 형태적 특색에 관한 연구”, 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.
- 오경섭, 1989, “화강암 풍화층의 점토조성과 풍화환경”, 『지리학』 40, pp.31-42.
- 오경섭, 1989, “Bt Band의 형성과정”, 『제4기학회지』 3, pp.35-45.
- 오경섭, 김남신, 1994, “전곡리 용암대지 피복물의 형성과 변화과정” 『제4기학회지』 8, pp.43-68.
- 장 호, 1983, “지리산 능선선 동부(세석-제석봉)의 주빙하 지형”, 『지리학』 27, pp.31-50.
- 조화룡, 1987, “한국의 층적 평야”, 교학연구사, p.219.
- 조화룡, 황상일, 윤순옥, 1994, “후빙기 후기의 ‘가와지’ 곡의 환경변화”, 『한국

- 지형학회지』 1, pp.3-16.
- 최성길, 1995, 한반도 중부 동해안 저위 해성단구의 대비와 편년, 『대한지리학회지』 30(2), pp.103-119.
- 최성길, 1995, “강릉-묵호 해안 최종 간빙기 해성면의 동정과 발달 과정” 『한국지형학회지』 2, pp.9-20.
- 황상일, 조화룡, 1995, “사포해안 층적평야의 Holocene 퇴적환경 변화”, 『한국지형학회지』 2, pp.1-8.
- ☐ 국외문헌
- Bertouille, H., 1972, Effets du gel sur les sols fins. Rev. Géomor. Dyn., X XI (2), pp.71-84.
- Boardman, J., 1991, Periglacial Geomorphology, Progresses in Physical Geography 15(1), pp.77-83.
- Brewer, R. 1964, Fabric and mineral analysis of Soil, Willy.
- Bullock, P., 1985, “The Role of Micromorphology in the Study of Quaternary Soil Processes” in Boardman(ed.), 1985, Soils and Quaternary Landscape Evolution, John Willey and Sons, pp.45~68.
- Bullock, P., *et al.*, 1984, Handbook for Soil Thin Section Description, Waine Research Publications, Wolverhampton.
- Cailleux, A., 1972, Fentes minces et dépôts chimiques secondaires en lakoutie et au Nord de Moscou. Biul. Peryglacjalny 21, pp.21-31.
- Cailleux, A., et Taylor, G., 1954, Cryopedologie, Etude des sols gélés., Hermann, P.220.
- Catt, J. A., 1985, Soil particle size distribution and mineralogy as indicators of pedogenic and geomorphic history : examples from loessial soils of England and Wales, Paper published in “Geomorphology and Soils”, Edited by Richards, K.S. *et al.*, George Allen and Unwin, pp.202-218.
- Corte, A. E., 1960, Experimental research on desiccation cracks in Soil. U.S. Army Snow Ice and Permafrost Research Establishment, Research Report 66, P.48.
- Corte, A. E., 1962, The frost behavior of soils: Laboratory and field data for a new concept, Part II -Horizontal Sorting, U.S.Army Cold Reg. Res. and Eng. Lab., Res. Report 88, P. 79.
- Corte, A. E., 1963, Vertical migration of particles in front of moving freezing plane, U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Res. Report P.105.
- Corte, A. E., 1966, Particle sorting by repeated freezing and thawing, Biul. Perygl. 15.
- Douglas, G. R., 1987, Manganese-Rich Rock Coatings from Iceland, Earth Surface Process and Landforms 12, pp.301~310.
- Duchauffour, P., 1982, Pedology : Pedogenesis and Classification (translated by Paton, T.R.), George Allen and Unwin, London.
- FitzPatrick, E. A., 1956, An indurated soil horizon formed by permafrost, Journal of Soil Science 7, pp.248-254.
- FitzPatrick, E. A., 1984, Micromorphology of soils, Chapman and Hall, London, New York, P.433.
- FitzPatrick, E. A., 1993, Soil Microscopy and Micromorphology, Wiley, p.



- 304.
- Harris, C., 1981, Microstructure in solifluction sediment from South Wales and North Norway, *Biul. Peryglacjalny*, No. 28, pp. 221–226.
- Harris, C., 1985, Geomorphological applications of soil micromorphology with particular reference to periglacial sediments and processes, Paper published in "Geomorphology and Soils", Edited by Richards, K. S. *et al.*, George Allen and Unwin, pp. 219–232.
- Jouaffre, D. *et al.*, 1991, Rubéfaction post-würmienne en climat montagnard humide jurassien. Rôle du pédoclimat et actualité du processus, *Geoderma* 50(3), pp.239–257.
- Nixon, J. F., 1991, Discrete ice lens theory for frost heave in soils, *Canadian Geotechnical Journal* 28(6), pp. 843–859.
- Oh, K. S., 1985, "Mise en évidence de structures cryogéniques quaternaires dans les formations superficielles de la vallée de la Fecht (Vosges moyennes cristallines)," Thèse du Doctorat, Univ. Strasbourg I.
- Oh, K. S., *et al.*, 1987, "Caractérisation micro-morphologique et hydrodynamique des niveaux structurés par le gel quaternaire", *CATENA* 14(6), pp.485–499.
- Pissart, A., 1970, Les phénomènes physique essentiels liés au gel, les structures périglaciaires que en résultent et leur signification climatique, *Annales de la Société Géologique de Belgique* t.93, pp.7–49.
- Pissart, A., 1982, Experiences de terrain et de laboratoire pour expliquer la genèse de sols polygonaux decimetriques triés, *Studia geomorphologica Carpatho-Balcanica* X V, pp.39–46..
- Segalen, P., 1964, Le fer dans les sols, Paris, ORSTOM, Initiation–Docm. –Techn., p. 153.
- Tricart, J., 1965, Principes Méthodes de la Géomorphologie, Paris, Masson et Cie.
- Tricart, J. et Cailleux, A., 1965, Introduction la Géomorphologie Climatique, Paris, Sedes.
- Tricart, J. et Cailleux, A., 1967, Le modelé des régions périglaciaires: *Traité de géomorphologie t.II*, SEDES, Paris, P.512.
- Van Vliet–Lanoë, B., 1976, Traces de ségrégation de glace en lentille associées et phénomènes périglaciaires fossiles, *Biul. Perygl. n° 26*, pp.41–55.
- Van Vliet–Lanoë, B., 1985, Frost effects in soils, in "Soils and Quaternary Landscape Evolution" Edited by J. Boardman, pp.117–158.
- Van Vliet–Lanoë, B., Coutard, J.P. et Pissard, A., 1984, Structures caused by repeated freezing and thawing in various loamy sediments: A comparison of active, fossil and experimental data, *Earth Surface Processes and Landforms* 9, pp.553–565.
- Van Vliet–Lanoë, B., et Langohr, R., 1981, Correlation between fragipans and permafrost with special reference to silty Weichselian deposits in

- Belgium and Northern France, CATENA 8, pp.137-154.
- Vliet-Lanoë, B. V., 1985, Frost Effects in Soils, in Boardman(ed.), 1985, Soils and Quaternary Landscape Evolution, John Willey and Sons, pp. 117~158.
- Washburn, A. L., 1979, Geocryology—A survey of periglacial processes and environments, Edward Arnold, London, P.406.
- Wilson, M. J., 1985, The mineralogy and weathering history of Scottish soils, Paper published in "Geomorphology and Soils", Edited by Richards, K. S. *et al.*, George Allen and Unwin, pp. 233-244

Received : November 30, 1995

Accepted : December 20, 1995