

천곡동굴 일대의 지질개요

정 창 희*

1. 서론

천곡동굴의 지질계통과 지질도는 1962년에 대한지질학회 산하의 태백산지구 지조사단이 조사 발표한 태백산지구지질도에 따른 것이며 동해시 일대의 지질의 주간은 고생대의 조선누층군의 일부이지만 부근에는 평안누층군이 분포하고 신생대층인 제3계의 작은 분포지가 있다. 화성암으로는 중생대에 관입한 화강암류가 있다.

천곡동굴은 풍촌석회암 중에 생성되어 있는 천연동굴이며 이 풍촌석회암은 동해안을 따라 1km 내지 2km의 분포의 폭을 가지고 남북방향으로 길게 놓여 있다. 풍촌석회암을 부정합으로 덮은 평안누층군 하부의 홍점층은 묵호항 부근에 분포한다. 풍촌석회암은 그 분포지의 서측에서 쥬라기의 편상화강암에 의하여 관입되었으며 묵호항 부근에서는 풍촌석회암과 홍점층이 함께 백악기에 관입한 우백질화강암과 접하여 있다. 제3기의 북평층은 송정리에 작은 분포를 보이며, 제4기의 홍적층은 작은 면적으로 분포하고, 충적층은 풍촌석회암을 위시한 모든 시대의 암석을 부정합으로 덮으며 그 분포 넓은 편이다.

* 서울대학교 명예교수

2. 천곡동굴부근의 지질

1) 조선누층군

조선누층군의 모식지인 삼척탄전에서는 대체로 아래에서 위로 장산규암층, 묘봉층(묘봉세일층), 대기석회암(풍촌석회암에 대비됨), 화절층, 동점규암, 두무동층, 막동층, 직운산세일층 및 두위봉석회암으로 구분되어 있다. 그러나 천곡동굴 부근에는 대기석회암에 대비되는 풍촌석회암이 넓게 분포하고 장산규암층과 묘봉층은 발견되지 않지만 이들 지층은 동해시 송정리 남방 6km 이남에 분포한다. 여기서 장산규암층은 그 분포의 폭이 좁게, 그리고 묘봉층은 넓은 면적에 걸쳐 분포한다. 그리고 풍촌석회암(대기석회암)의 상위에 놓인 원평층(화절층에 대비되는 층)과 다시 그 상위에 놓인 석병산석회암(두무동층에 대비되는 지층)은 작은 면적으로 묵호항 부근과 북서우에 분포한다.

㉞ 풍촌석회암

풍촌석회암은 천곡동굴이 배태된 지층으로서 묵호항에서 남쪽으로 송정리까지 약 5km 간, 1km 내지 2km의 폭을 가지고 분포한다. 풍촌석회암은 1930년에 삼척탄전에서 대기석회암이라고 명명된 지층에 대비되는 것으로서 이는 고생대 초엽에 퇴적된 지층이다. 풍촌석회암이라는 지층명은 손치무 교수가 명명한 것으로서 삼척탄전 이외의 지역에서 대기석회암에 대비되지만 암질이 대기석회암과 다른 석회암층에 대하여 주어진 명칭이다. 삼척탄전 외의 지역에서는 이 이름이 자주 사용되고 있다.

전술한 바와 같이 풍촌석회암 하위에는 묘봉층이 있고, 다시 그 하위에는 장산층(장산규암층)이 있으나 동굴부근에서는 이들 지층이 발견되지 않는다. 또 풍촌석회암 상위에는 화절층에 대비되는 원평층이 묵호항 북해안에 작은

면적으로 분포한다. 묵호항 북서쪽 약 2km 이서에는 우백질화강암에 포획된 상태로 상당히 큰 면적의 원평층이 분포하며, 그 상위의 석빙산석회암도 넓게 분포한다. 동해시 부근에 분포한 풍촌석회암은 그 일반 주향이 남북 내지 북동-남서 방향이고, 경사는 곳에 따라 다르다. 국부적으로는 급경사하는 곳이 있으나 이런 현상은 국부적인 습곡지대에서 관찰될 뿐 대체로는 20°내외 동 또는 서로 경사한다.

풍촌석회암의 암석은 주로 미정질 회색 내지 담회색 석회암으로 되어 있으며 간혹 고회암층을 협재한다. 풍촌석회암은 층리가 잘 발달된 부분과 피상이어서 층리가 분명치 않은 부분이 있다. 층리가 잘 발달된 부분이 풍화되면 층리에 따라 쪼개지기 쉬운데 이는 층에 따라 암질이 약하다는 사실을 의미한다.

동해시 부근의 풍촌석회암의 두께는 습곡의 반복으로 그 진후를 측정하기 곤란하나, 모식지인 삼척탄전에서는 약 200m 이며 여기서도 이 값과 근사할 것으로 추측된다.

㉞ 원평층

원평층은 묵호항 북서쪽 2km 이북에 우백질화강암에 포획되어 비교적 큰 분포를 보여준다. 그러나 묵호항 서쪽에 거의 무시할 정도의 작은 면적(경 300m 정도)으로 분포한다. 여기서 원평층은 풍촌석회암을 정합으로 덮으며 우백질화강암의 관입을 받아 북쪽으로 더 이상 추적되지 않는다. 원평층의 분포지 북방으로 약 100m 간 우백질화강암을 격하고 홍점층이 분포하므로 양자 사이의 원래의 관계를 알 수는 없다.

원평층은 암회색 충식석회암으로 되어 있어서 곧 화절층과 대비가 가능하다. 이 층의 주향은 대체로 동서이고 경사는 북쪽으로 30°내외이다. 여기서 측정된 원평층의 두께는 50m 정도이다.

㉔ 석병산석회암

석병산석회암의 주된 분포지는 묵호항 북서쪽 6km 이북에 있으며 이는 우백질화강암 속에 포획된 상태로 분포한다. 묵호항 북쪽 해안에 100m 미만의 폭을 가지고 동서 방향으로 분포하며, 홍점층에 의하여 부정합으로 덮여 있다. 석병산석회암은 여기서 암회색 미정질이고 로마이트(고회석)질이며 대체로 괴상이다. 주향은 동서 방향이고 경사는 북으로 30° 내외이며 그 두께는 50m+이다.

2) 평안누층군

평안누층군은 조선누층군을 부정합으로 덮은 누층으로서 그 지질시대는 고생대의 석탄기에서 중생대의 트라이아스기에 걸친이다. 이는 그 모식지인 삼척탄전에서 홍점층이 최하부를 이루며 그 위에 사동층, 고방산층 및 녹암층이 겹쳐 있다. 천곡동굴 지역 부근에서는 묵호항 주위에 홍점층이 분포한다. 묵호에서 북쪽으로 약 2km 간의 홍점층의 분포를 격하고 사동층과 고방산층이 분포한다. 사동층과 고방산층은 천곡동굴에서 5km 이상 떨어진 곳에 분포하기 때문에 이들 두층의 분포지가 포함되어 있지 않다. 따라서 이들 지층에 대한 기재도 생략한다.

㉕ 홍점층

평안누층군의 최하부층인 홍점층은 묵호와 그 주변에 분포하며 그 상위의 사동층과, 다시 그 위의 고방산층은 묵호항의 북방 2km 이북에 분포하여 포함되어 있지 않으므로 이들에 관하여는 여기서 기재하지 않기로 한다. 홍점층은 조선누층군의 상부층인 석병산층(모식지의 두무동층에 대비됨)을 부정합으로 덮는다.

동해시에서 묵호항으로 가는 해안로에서 북쪽을 바라보면 동해로 길게 뻗은

반도 모양의 육지를 볼 수 있는데 이 반도 모양의 육지는 전체가 거의 같은 높이를 가진다. 이 반도의 해발고도는 70m인데 거의 전체가 홍점층으로 되어 있으며 홍점층이 바다와 접한 묵호항 북해안에서 석병산석회암을 부정합으로 덮는다. 고도가 약 70m인 반도의 표면이 평탄한 것은 그것이 해안단구이기 때문이다. 단구면에는 잘 원마된 자갈로 이루어진 역층이 발달되어 있으며, 자갈 속에는 간혹 천공패(boring shells)가 만든 구멍들이 남아 있는 돌 조각도 발견된다.

묵호항의 남서부에 작은 면적으로 분포한 원평층은 홍점층과 직접 접해있지 않고 이들 두 사이에는 우백질화강암이 개재하여 부정합 관계인지 또는 단층을 격한 관계인지를 알 수 없게 되어 있다.

모식지인 삼척탄전에서 홍점층의 암석은 주로 자색의 셰일로 되어 있으나 묵호항 부근의 홍점층은 주로 암회색 셰일로 되어 있다. 이곳의 홍점층에서는 자색의 암석을 발견할 수 없어 이 점이 모식지의 홍점층과 크게 다르다. 간혹 백색 또는 담회색 석회암의 불연속적인 박층(두께 1 내지 2m)을 협재하는데 이 석회암에서는 석탄기를 지시하는 방추충의 화석이 발견되어 홍점층의 시대가 고생대의 석탄기임을 입증해 준다.

홍점층의 일반주향은 동서이나 곳에 따라 북서-남동 내지 북동-남서로 변한다. 그리고 경사는 북으로 20° 내지 30° 이다. 그리하여 홍점층에는 남북 방향의 축을 가지고 북쪽으로 침강하는 배사구조와 향사구조가 반복되어 있음을 암시한다.

이 층의 두께는 측정되지 않았으나 모식지에서의 그것은 200m 정도이므로 이곳의 홍점층도 이와 근사한 값을 가진 것으로 추측할 뿐이다.

3) 신생대층

천곡동굴 부근의 새로운 지질시대의 지층으로 신생대의 제3계 및 제4계가

있다. 전자에 속하는 것에는 북평층이 있고 후자에 속다하는 것으로는 홍적층(단구층)과 충적층이 있다.

㉓ 북평층

북평층은 동해시 송정리 서방 2km 부근에 분포하는 것과, 송정리 남쪽 2km에서 6km사이에 비교적 넓게 분포한 것이 있다. 이들 두 지역의 지층은 송정리 평야의 넓은 충적층으로 분리되어 있다.

송정리의 북평층은 미고결 상태의 퇴적층으로서 낮은 구릉을 이룬다. 퇴적층은 황색 내지 담갈색의 이암으로 되어 있으며 두께 1m 미만의 탄질이 불량한 얇은 갈탄층을 협재한다. 제3기 마이오세를 지시하는 식물화석과 유공충화석을 포함한다.

지표에서 관측된 북평층은 거의 전체가 수평으로서 경사된 부분을 볼 수 없다. 1970년대의 탄층 탐광으로 약 10m 굴하한 일이 있어 북평층의 두께는 10m 이상일 것으로 보이나 지하로의 최대 두께는 시추에 의한 작업으로 밝힐 수밖에 없다. 북평층은 풍촌석회암을 부정합으로 덮으며 이는 다시 충적층에 의하여 부정합으로 덮여 있다.

㉔ 홍적층

천곡동굴 지역에서 홍적층으로 지목되는 것은 묵호항 북측의 홍점층을 부정합으로 덮은 해안단구의 역층 즉 단구층이다. 이 단구면은 해발 약 70m의 고도를 가진다. 단구층은 장경이 수cm 내지 20cm의 잘 연마된 원력으로 되어 있으며, 역들 중에는 천공패가 뚫은 구멍을 보존한 것들이 발견된다. 이들로서 이 역층이 해안에 가까운 해수중에서 퇴적된 층임을 알 수 있다.

해수 중에 퇴적되던 역층은 육지의 상승 또는 해수면의 강하로 현재의 위치를 점하게 된 것이다. 이러한 상승 또는 침강에는 상당한 시간이 필요했을 것

이므로, 이 단구층은 충적층보다 생성시기가 훨씬 오랜 것이다. 아마도 과거 10만 년 전부터 수만 년 전 사이에 생성된 것이다. 하안단구위의 분포한 단구층의 두께는 3m 정도이다.

㉔ 충적층

하천바닥과 하천가에 쌓인 토석층, 그리고 해수준면 높이에 가까운 해안과 해저에 쌓인 사력층은 최근(1만년 전부터 현재)에 하천, 해수, 우류, 중력 등의 작용으로 운반 퇴적된 것으로서 이들이 충적층이다.

천곡동굴 부근에는 대소 하천이 있고 그들의 바닥과 그 범람원 퇴적물이 충적층에 속한다. 또 최근까지 얇은 해저였다가 약간 융기되어 생긴 송정리의 해안평야퇴적층이 충적층에 속한다. 동해안의 천해퇴적층도 충적층이다. 천곡동굴 부근의 충적층은 충적세 이전에 생성된 모든 암석 즉 풍촌석회암, 원평층, 석빙산석회암, 홍점층, 북평층, 홍적층을 모두 부정합으로 덮었다.

충적층의 두께는 수m 정도이며 더 깊은 곳의 지층은 홍적층일 가능성이 있다. 사력이나 토석층이 두껍게 쌓인 곳에서는 충적층 아래에 홍적층이 있을 가능성이 있으나 그 경계를 명확히 하기는 곤란하다.

3. 천곡동굴의 지질

천곡동굴의 지표지질 조사는 1991년에 시행된 바 있으며 그 결과는 한국동굴학회지 '동굴'에 발표된 바 있다. 당시 지표에서 석회암층의 주향과 경사를 측정하였는데 이번에도 지층의 주향과 경사를 추가로 더 측정하였다. 1991년 당시 동굴에 직결된 석회암층(풍촌석회암)을 3분하여 하부를 하부고회암층, 중부를 회색석회암층, 상부를 상부고회암층으로 하였다.

1) 동굴의 지표 지질

동굴의 지표에는 관찰할 수 있는 노두의 개수가 아주 적어서 주향과 경사를 측할 수 있는 곳이 드물다. 동굴의 서단 이서의 석회암층은 대체로 주향이 $N20^{\circ}E$ 이고 동쪽으로 10° 내지 30° 경사한다. 그리고 동굴 최서단 부근에서는 지층의 상태가 수평으로 변한다. 또 동굴 서반부에서는 주향이 동서 내지 $N60^{\circ}E$ 로 변하고, 경사는 10° 내외로 완만하다. 동굴의 동부에서는 그 북쪽에서 $N60^{\circ}W$, 남쪽으로 내려오면서 $N30^{\circ}W$, 더 남쪽에서는 $N40^{\circ}E$ 로 변하며 경사는 모두 20° 내외여서 서쪽으로 완만하게 침강한 향사구조를 형성한다. 이런 구조는 그 향사축 부근의 지층이 수평을 이루게 마련이다. 실제로 동굴 안에서 이 부분직하의 지층이 수평에 가까운 구조를 가졌음이 밝혀졌다.

그리고 동굴 입구에서 동쪽으로 약 150m 떨어진 지표에서도 지층이 수평을 유지하고 있음이 관측되었다. 다만 동굴 입구 부근에서는 $N40^{\circ}E$ 로 주향하고 경사가 $50^{\circ}SE$ 인 개소가 있는데 이곳은 동굴 안에서 발견된 단층(저승굴 단층)의 북동 연장에 가까우며 단층의 영향권 안에 있는 까닭으로 생각된다.

2) 동굴 내부의 지질구조

동굴 입구에서 약 40m 안쪽의 지층은 $N20^{\circ}W$ 로 주향하고 서쪽으로 10° 내지 20° 경사한다. 그리고 '저승굴' 부근에서는 완만한 향사구조가 발견되며 일부 지층은 수평이다. 동굴 입구에서 남서로 직경 40m 내지 60m 구간에서는 $N35^{\circ}W$ 의 주향을 가지고 거의 연직으로 경사한 단층이 발견된다. 관찰이 가장 용이한 부분은 '저승굴'로 올라가는 층계이다.

이 단층은 그 동측의 지층이 단층을 향하여 구불어져 올라갔으며, 단층 서측에 접한 지층은 급하게 동쪽으로 경사하여 복잡하게 습곡한 모습을 보인다. 이런 구조는 단층이 동낙-서승 형임을 지시하는 것이다. 이 단층의 북서쪽 연장부이며 단층에 따라 20m 여의 좁은 굴이 생겨 있다. 이 동굴은 조명이 되

어 있어 관찰이 용이하다. 동굴의 중부 내지 서부에서는 국부적으로 경사된 곳이 있으나 대체로 수평에 가까운 구조를 보인다.

3) '이승굴'의 탐사

'이승굴'은 천곡동굴의 서남단에서 $N40^{\circ}W$ 방향으로 연장된 동굴로서 최근까지는 미탐사 구역이었으나 최근에 탐사가 실시되었다. 그 연장은 약 50m이고 그 폭은 약 15m인 광장을 이루며 천정에서는 동굴의 연장 방향과 평행한 $N40^{\circ}W$ 방향의 절리가 발견된다. 이로 보아 '이승굴'은 이 절리의 영향을 받아 생성된 굴로 추측된다. 이 절리의 북동측의 지층은 완만하게 북동쪽으로 경사하고 절리의 남서측의 층리는 거의 수평이다. '이승굴' 바닥에는 낙하한 암편이 많은데 이는 천정의 지층이 거의 수평이기 때문에 일어난 현상으로 해석된다.

'이승굴' 중간에서는 아래로 이어지는 통로가 있어 역(북서)방향으로 약 50m 연장되어 있는데 이는 수로굴이라고 불린다. 수로굴은 '이승굴' 바닥보다 약 7m 낮은 좁은 굴로서 $N40^{\circ}W$ 방향으로 연장되어 위의 '이승굴'의 방향과 비슷하나 북서쪽으로 약 20m의 수평거리를 두고 있다. 이 굴의 폭은 1m 미만이며 지하 수로로서 물이 흐르고 있으며 기개발 동굴의 말단부에 연결된다. 이 굴은 위로 향하여 좁아지며 더 높은 상부 연장부는 관찰이 불가능하나 이 좁은 수로굴은 북서-남동 방향의 절리에 따라 형성된 것으로 추측된다. 이승굴과 수로굴에서는 그 바닥을 흐르는 물밑에서 자갈층이 발견되어 주목된다.

4) 천곡동굴 지질의 종합

천곡동굴 일대에 분포한 석회암은 넓은 분포를 보이며 두께가 200m 정도인 풍촌석회암의 일부에 지나지 않는다. 동굴에 관여한 풍촌석회암은 두께가 약 80m에 불과한 것이며 풍촌석회암의 중부에 해당할 것으로 추측된다.

전술한 바와 같이 동굴에 관여한 석회암은 아래에서 위로 ① 하부고회암층, ② 회색석회암층 및 ③ 상부고회암층으로 구분되었는데 이들에 관하여 설명하면 다음과 같다.

① 하부고회암층: 동굴지역의 남서우에 분포한다. 이는 담회색 내지 백색의 고회암층으로서 층리가 잘 발달되어 있다. 이 암석을 편광현미경으로 관찰하면 광물 입자율의 반이상이 고회석으로 되어 있고 그들 사이를 방해석 입자 메우고 있음을 볼 수 있다. 이 암석의 편광현미경 사진은 '동굴'지 27호(1991년 12월) p.63, 66에 게재되어 있다.

② 회색석회암층: 이 석회암층은 동굴지역의 남서부에서 북동부로 대상으로 분포하며 돌리네가 있는 곳에서 외견상 굴곡하며 분포한다. 동굴은 전체가 회색석회암층 중에 배태되어 있으며 특히 이 석회암층의 기저부에 가까이 존재한다. 고회암층보다 풍화, 침식 및 용식작용에 약하므로 동굴 생성에 유리하게 작용했던 것으로 보인다. 이 층의 두께는 약 60m이다. 이 석회암층 중에는 특히 물리 화학적으로 약한 층이 있어서 이 층을 따라 낙반이 일어나 동굴의 대부분이 이루어진 것으로 생각된다. 회색석회암층 암석의 편광현미경 관찰에 의하면 이는 대부분이 방해석 알갱이로 된 미정질 석회암이다. 이 암석의 박편을 편광현미경으로 찍은 사진은 전출지의 p.67에 있다.

③ 상부고회암층 : 이 고회암층은 회색석회암층을 정합으로 덮으며 동굴의 지표의 가장 높은 지형(해발 45m 이상의)을 점한다. 이는 이 고회암층이 풍화에 강한 성질에 기인하는 것이다. 상부고회암층은 층리의 발달이 불량한 백색의 괴상 고회암으로 되어 있으며 곳에 따라 그 풍화면이 포도상의 구조를 보인다. 이 층의 두께는 30m+이다. 편광현미경 관찰 결과는 하부고회암층의 그

것과 같다.

4. 동굴 생성 과정

지표상황으로 보아 1991년 당시에는 돌리네가 하천과는 관계가 없을 것으로 추측되었었다. 그런데 금번 새 개발지구인 '이승굴'을 탐사하는 과정에서 이승굴과 수로굴 바닥에서 지름 3cm 내외의 자갈을 주로하고 장경이 7cm 에 달하는 자갈을 포함한 잘 원마된 자갈층이 발견되었다. 이들 자갈은 거의 전부 원마도가 높은 규암력이며 풍촌석회암 분포지에서는 유도될 수 있는 것이 아니다. 이 지역이 현재보다 수10m 더 높은 평야였을 때에 바다로 흘러가던 하천수가 운반하던 자갈이 돌리네를 통하여 공급된 것으로 보아야 할 것이다. 규암력은 아마도 조선누층군의 장산규암과 기타 규암층에서 유래한 것으로 보이며 멀리는 태백산맥에 분포한 이들 규암층을 근원으로 생각할 수도 있다.

동굴 내부의 지질구조로 보아 동굴은 단층 및 절리계를 시점으로 형성되기 시작하였으며 회색석회암층 중에 물의 용식작용에 특히 약한 층준이 있어서 큰 동굴로 발전한 것이다. 동굴 입구에 가까운 동굴 천정은 물에 의한 용식의 흔적이 잘 보이는데 이는 동굴이 지하수면보다 낮은 위치에 있었을 때에 물이 천장까지 팍 찬 상태에서 물이 흐르며 용식작용을 가하였을 것으로 보인다. 동굴이 절리로부터 시작했겠지만 그 역할이 돋보이지 않는다. 동굴을 따라 흐르던 물은 지하에서 곡류한 흔적이 뚜렷한데 지하광장의 형성은 하수의 곡류에 의한 것으로 해석된다.

지층의 층리가 연직에 가깝거나 급한 경사를 가진 동굴에서는 천정의 암석이 붕락할 우려가 적으나 지층의 층리가 수평이거나 이에 가까울 때에는 낙반이 용이하게 일어날 수 있다. 특히 수평층 중에 약한 층이 있으면 이 층을 따

동굴 58호

른 낙반할 가능성이 크다.

*** 참고문헌**

박병수, 1979, “우리나라 동굴의 지형학적 특성분석”, 동굴, 4, 4, 36~39.

정미숙, 1980, “삼척지방의 Karst Terrain에 관한 연구”, 동굴, 5, 6, 23~30.

홍시환·유재신, 1988, “한국의 지질과 자연동굴”, 동굴, 16, 17, 23~26.

홍현철, 1991, “천곡동굴의 동굴퇴적물 답사보고”, 동굴, 27, 28, 68~84.