

양당리굴내 생성물의 분포 및 특성

오 종 우

안산대학교 전자상거래학과

카르스트 지형과 관련된 동굴생성물(Speleothems)의 발달과정은 [그림 1]에서 요약되어 있듯이 일정한 규칙의 발달과정을 거치면서 형성되는 동굴수문학적(Speleo-hydology)인 속성을 가지고 있다(Ford, 1989). 동굴생성물은 주로 기반암으로부터 침식되는 용해물질에 의하여 다양한 생성물을 제공하거나 외부 하천의 유입에 따른 외래산 퇴적물질 등이 상호 교차되어 집적되어있다. 특히 동굴생성물질의 물리적인 특성을 분석하여 여타 동굴의 경우와 비교하여 양당굴 특유의 지질적인 지형적인 성인과 수문학적인 영향에 의한 생성물의 발달기원과 발달과정을 통한 인자를 규명할 수 있는 기회를 제공하게된다. 또한 이러한 생성물들은 동굴역사의 침식 및 퇴적의 기록을 보충해주며, 절대적 연대표의 의미와 지역적인 환경변화의 증거를 제시해 주기도 한다.

본 연구조사에서는 동굴생성물의 물리적인 특성을 규명하기 위하여 박편분석(Thin section)과 광물조성(XRD)분석, 퇴적물의 입도분석을 하였다. 본 분석을 위한 샘플로서 동굴내부에 형성된 2차생성물인 종유석, 종유관, 석순에 대한 4개의 시료를 채취하여 분석하였다. 석회동굴의 2차생성물(Speleothem) 샘플 중 임의로 선정한 종유석은 상단동굴에서 한 표본 그리고 하단동굴에서 두 번째 표본을 선정하였으며, 종유관은 대량군집에서 한 표본을, 그리고 석순은 하단동굴에서 형성된 샘플을 선정하여 상호 비교의 대상이 될 수 있도록 하였다.

이상의 샘플은 본 동굴의 성인상 상단과 하단으로 형성된 암석간의 2차생성물의 차이를 파악하기 위하여 종유석을 채취하였으며, 그 중에서 동일 용해물의 종유석과 석순의 광물조성 차이를 비교분석 하였다. 그리고 종유관은 종유석과 동굴천장에서 유착된 동일성을 가지나 유형이 상이하기 때문에 상호간의 미네랄 등의 함량차이를 비교 제시하여 相異性(heterogeneity)을 통한 분류의 기준을 가질 수 있도록 하였다. 그러나 퇴적물의 입도분석 샘플 5개는 박편분석과 광물조성을 위한 샘플과 다른 거점에서 채취하여 분석에 활용하였다.

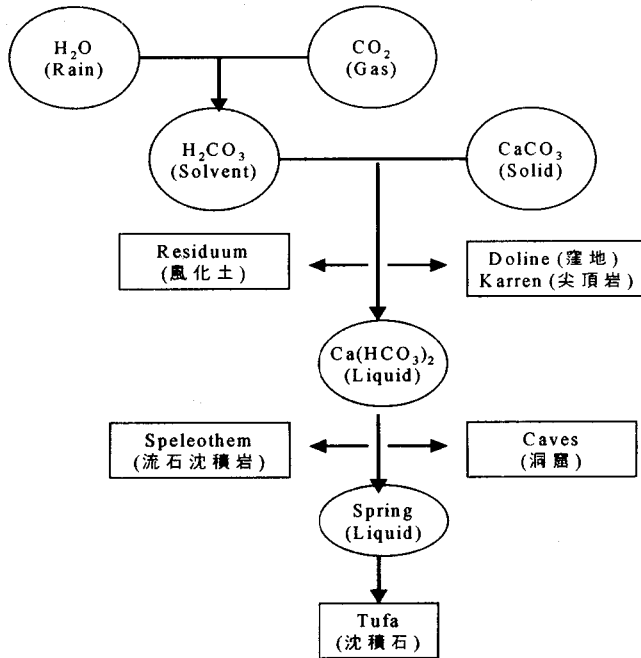


그림 2. Karst의 발달과정 (Genetic Karst Process) (오종우, 1994)

[그림 1] Karst의 발달과정(Genetic Karst Process) 모식도(Oh,1994)

[그림 1]에서 카르스트의 발달과정은 4 단계로 분류되어 대기권과 토양권 그리고 암석권과 수문권 등으로 형성되는 일련의 과정은 다음과 같이 분류 설명될 수 있다.

○ 1단계 기권(Atmosphere): 빗방울(H₂O)이 대기 중에서 CO₂의 혼합으로 산성비(H₂CO₃)가 되어 석회암(CaCO₃)에 접촉되어 최초의 용식작용이 시작된다. 용식작용은 석회암 자체는 칼슘성분을 가진 암석이므로 산이 포함된 빗물이나 하천 혹은 지하수 등에 의하여 용해된다.

○ 2단계 토양권(Pedosphere): 산성비와 석회암성분이 합쳐 형성된 가용성 화합물(Ca(HCO₃)₂)은 식생부식에 의한 토양(Humic acidic soils)에 의해 기반암의 용식이 촉진되어 지표에는 침정암지형(Karren)과 석문(石門 Natural Bridge), 와지(Dolines, Sinkholes) 지형을 형성시키고, 암석의 분순물은 지표에 남겨져서 결국 적색풍화토(Residuum, Residual Redish Soils) 를 만든다.

○ 3단계 암석권(Lithosphere): 용식작용에 의해 지상에서 지하로 확대되어진 모암의 균열을 타고, 지하의 공간이 지하수의 유입과 유출에 의해 점차 확대되어 동공형의 Conduites; Voids; Shaft 이라는 동굴지형을 형성시키고, 동굴의 천정으로부터 나온 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 는 탄산염의 지속적인 분해 공급에 의해 동굴내에는 종류석, 석순, 유착석(Speleothem) 등의 새로운 2차생성물에 의한 동굴지형(Speleoscape)을 조성하게 된다.

○ 4단계 수권(Hydrosphere): 동굴의 형성작용을 거친 물은 동굴지하수로 잔여 Calcite를 함유한 채로 유출(Spring)된다. 동굴을 떠난 잔여 Calcite는 또다시 동굴입구나 하천유역에 침전시켜서 유착석 형태이거나 석회화 단구형의 집적지형 (Tufa Formation: Tufa Dam, Tufa Flowstone)을 동굴출구주변 하천에 최종적으로 형성하는 과정을 거치면서 카르스트 지형의 발달에 따른 순환의 과정을 마치게 된다.

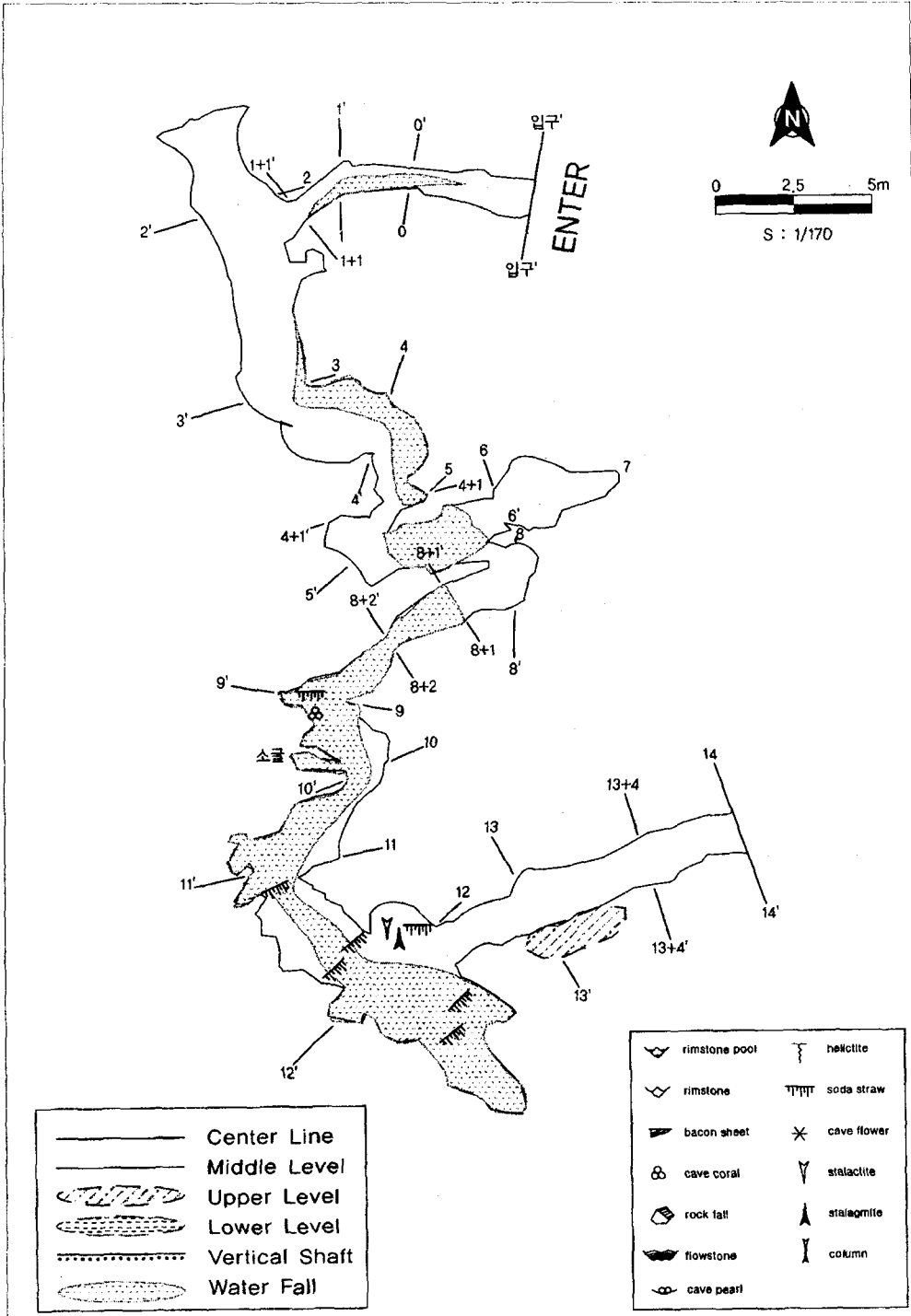
1. 동굴내 2차생성물의 분포 및 특성

양당굴의 생성물은 전체적으로 볼 때 군집형(Clustered)으로 한꺼번에 여러형식의 생성물들이 묶여져 여러 군데 분포되어져 있는 것이 특징이다. 즉 동굴의 천장부분에 모암의 균열면이 많이 발달된 곳 중심으로 집중적인 용해물질이 흘러나와 2차생성물로 형성되어있다. 규모나 형상이 미세한(30cm내외) 소규모 종유관들이 노출된 것으로부터 대형 종유석이나 석순(1~1.5m) 그리고 유석암(Flowstone) 등으로 벽면을 뒤덮은 밀집생성물지형으로 특징 지워지고 있다.

석회암의 광물들은 화학적 침전물로서 동굴안에 퇴적되는데 동굴생성물(Speleothems)들은 다양한 형태를 이루고 있다. 특히 양당굴내에는 점토성분의 암석인 혈암 등이 석회암과 혼재되어 넓게 분포되어 용해물이 이들 중심으로 형성되고 있으며, 경사선을 따라 길게 커텐형이나 베이컨형으로 생성되어져 있다. 특히 몇 군데에 불과하지만 모식적인 대형 종유석과 석순의 형상과 분포는 한국동굴의 생성물 중에서도 손색이 없을 정도로 수준급이라고 할 수 있다.

1) 양당리굴내 2차생성물의 분포

양당리굴의 2차생성물의 분포는 양당리굴을 4구역으로 나누어서 생성물의 위치를 횡단면도 번호를 기준으로 설명하였다.



[그림 2] 양당리굴 1구역의 동굴생성물 분포도

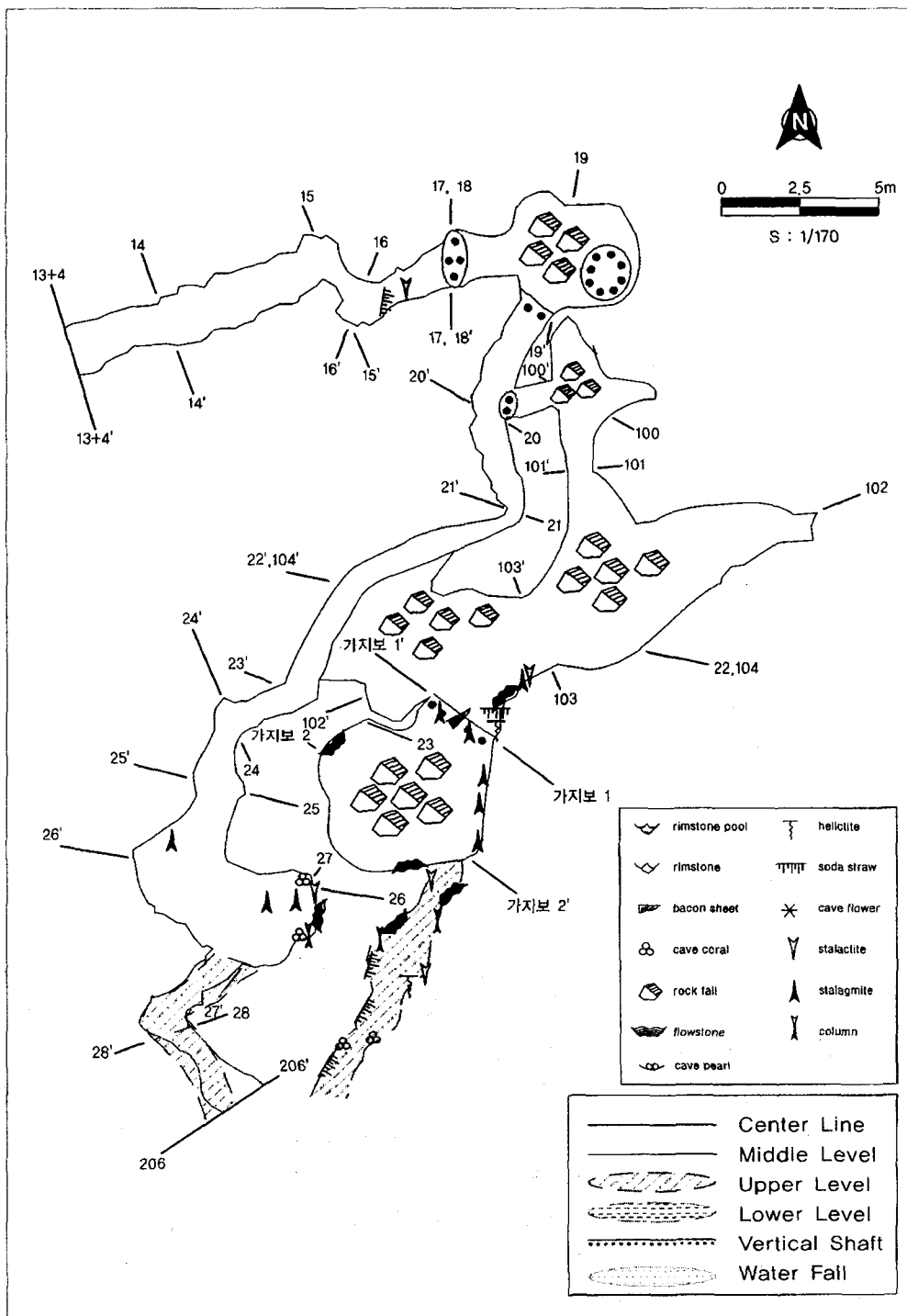
가) I구역 (횡단면 위치 입구~14번 단면)

I 구역은 입구에서부터 14번 횡단면까지를 포함하는 지역으로 평면도에 2차생성물의 위치를 표시하였다[그림 2]. 이 구역은 좁은 통로와 광장, 수로를 지나게 되는데 좁은 통로와 광장에는 생성물이 발달하지 않고 수로를 지나 9번 횡단면이르면 백색 종유관, 종유석이 나타나기 시작한다. 이 곳에 분포하고 있는 백색종유관은 불규칙한 동굴하곡 상부에 군집된 종유관(10~20cm 길이)의 형상으로 기반암의 석회질 순도가 미약하거나 침출수의 양이 미미한 결과로 여겨진다.

수로를 따라 11번~12번 위치에 이르면 종유관, 종유석, 대형석순이 있는 지역이 나타난다. 이 곳은 Vadose cave 천장에 남겨진 황갈색의 종유관(20cm 길이)하부에 대형 석순(60cm 높이)의 형상으로 보아 불순물이 많은 기반암 중에서도 고순도의 석회암의 용식(solution) 흔적을 파악할 수 있는 현상들이 나타나고 있다. 또한 이 지역의 천장은 주변 종유관 흐름의 분포와 달리 천장의 유석 흔적과 1자썸(30cm)되어 보이는 다듬이 방망이형의 종유석의 밀집, 그 아래의 대형석순의 형상으로 보아 기반암의 순도가 불규칙적으로 형성된 것임을 추정할 수 있다.

나) II구역(횡단면 위치 14번 단면~28번 단면)

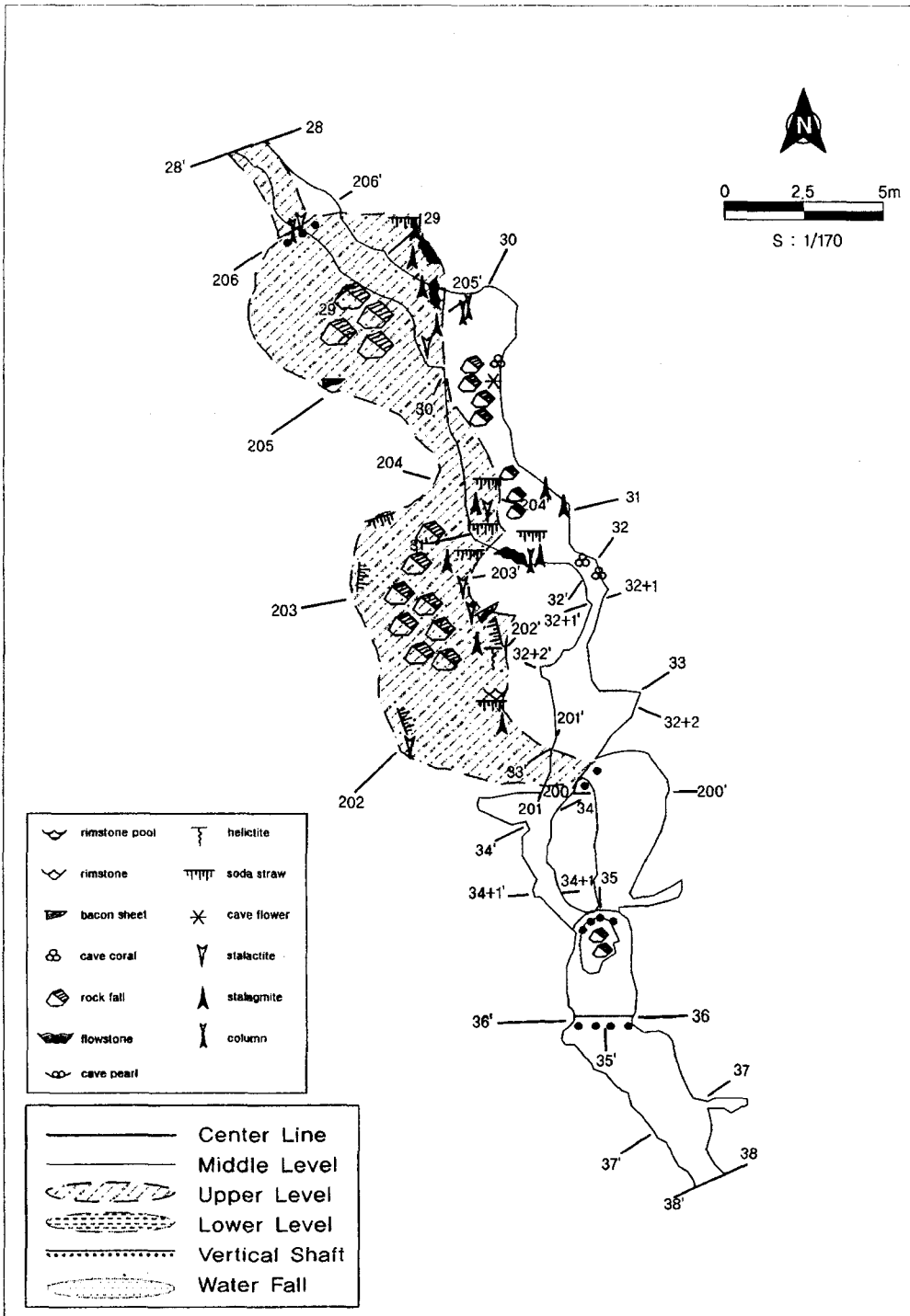
II구역은 13번부터 28번 횡단면까지를 포함하는 지역으로 평면도에 2차생성물의 위치를 표시하였다[그림 3]. 이 지역은 좁은 통로와 낙반이 있는 지역으로 상단부에 광장을 형성하고 있다. I 구역에서부터 좁은 통로로 이어진 16번 지역은 천정부에 소규모 종유관이 있고 벽면에는 작은 석순이 있다. 경사면을 올라 19번 지역은 낙반이 있고 우기때는 1m정도의 소폭포가 형성된다. 좁은 통로를 지나 가지보1 지역에 이르면 2m정도의 유석이 벽면에 나타난다. 이 유석 상층부에는 종유관, 종유석, 석순 등이 발달하였다. 유석 상단에 휘어진 종유석과 종유관들이 나타나는데 이런 현상은 삼투된 용액의 차별성에 의한 좌우의 비대칭 증진과정에 의한 현상으로 한국동굴에서 매우 희귀한 현상이다. 가지보1에서 수직으로 올라오면 폭 10m정도의 동방이 나타나는데 이 동방의 측면에는 대형 석순(120cm)과 대형 종유석(120cm) 그리고 외벽에 유석의 흔적들이 나타나고 이러한 것들은 기반암의 순도와 삼투수의 역동성의 상관성에 의한 결과로 형성된 것으로 볼 수 있다. 또한 측면에 암회색의 유석이 나타나는데 이 유석은 회백색의 기반용해물에 의해 생성된 유석에 상부에만 암회색의 표면 착색이 나타난다. 이러한 현상으로 보아 2차원적인 동굴환경변화에 따른 침색현상(박쥐의 배설물 혹은 천정의 비석회암 문진 등)으로 보인다. 동방 오른쪽에는 선반(펜던트)상에 피복된 석회 용해물이 나타나며 이러한 현상은 Vadose cave 형성



(그림 3) 양당리굴 II구역의 동굴생성물 분포도

당시 벽면에 남겨진 암석의 함몰에 의한 흔적이며, 이는 동굴의 확장 현상을 유발시킨 Phreatic caving에 의한 동저의 하각작용(degradation)으로 동굴이 하부로 확장되는 과정에서 벽면에 남겨진 현상이므로 동굴의 발달과정을 유추할 수 있는 귀중한 지형이다.

동방 왼쪽 상부에 펜던트형 종유석(Pendent Type-stalactite)이 벽면에 나타나는데 이는 펜던트 위에 형성된 고농축 석회용해물의 조화에 의한 2차생성 지형이다. 또한 이 지역에는 Pisolit화된 기저퇴적물이 나타나는데 이런 퇴적물의 생성은 유동성을 유발한 물의 흐름에 의한 자갈상에 석회용해물질이 소량씩 첨가되어 Pisolit가 되는 현상이다. 기저퇴적물 상단에는 커튼, 종유석, 종유관 등이 있고 커튼형상의 구성은 주변 용해물의 변형에 의한 현상으로 중력이 높은 쪽으로 물질이 쏠려서 완성된 성인을 가지고 있다. 또한 이 지역에는 주변의 종유석과 차별화된 색을 가진 종유석이 나타나는데 종유석에는 점토성 물질과 석회 고유의 회백색 물질의 차별 현상에 의한 흔적이 남아 있는 것이다. 이 종유석 옆에는 퇴화된 석회형상의 조형물이 나타나는데 이러한 석화는 주로 고요한 물속에서 침전물의 상호유착에 의하여 생성된 것으로 침예한 끝부분이 풍화되어 그 흔적만 남겨진 상태로 있다. 이 동방 상단의 좁은 통로로 205번 지역과 연결되어 있다. 이 동로에는 종유관, 종유석, 석순, 석주, Pisolite 등이 있다. 이 동굴에 소형 종유관에 의한 대형 석순이 발달한 현상들이 나타난다. 이것은 수분속 칼사이트의 함량이 적을 때 종유석보다 석순의 성장이 상회하는 현상으로 볼 수 있다. 좁은 통로 벽면에 따라가면 석주형 종유관이 형태도 나타난다. 이곳 종유관의 견고성은 아주 미약하며 조금만 건드려도 부서지기 때문에 수분속 칼사이트의 함량이 매우 낮은 것으로 판단된다. 한쪽 구석에 발달한 굵은 종유석과 유착암류는 수분속 칼사이트의 함량이 높을 때 굵은 종유석이 형성되고 벽면에서 지반상에 두꺼운 유착암류가 형성되는 현상들이 나타난다. 26번, 27번 횡단면 지역은 종유석, 석순, 석주, 유석, 산호 등의 생성물이 발달한 지역이다. 26번 지역에는 천정의 종유관형 2차생성물과는 대조적인 250cm×45cm의 고점착의 칼사이트가 집적된 대형 석순이 나타난다. 27번 지역은 천정의 균열선들 마다 일직선상으로 형성된 초기의 석순군이 있고 또한 점토빛 바닥 침전물위에 우유빛 침전물이 피복하고 있는 현상들이 나타난다. 고농축 칼사이트 함유의 유석이 있고 그 안쪽으로는 유두형 석주가 나타난다. 이 점막성 유두형 2차생성물은 지하수면이 잠긴 상태에서 물에 용해된 점토성 침전물과 혼합되어 형성된 현상이다. 유석 바닥에는 소형의 동굴진주가 있고 그 옆으로 수증에서 형성된 것으로 유두형의 잔형이 많이 노출된 2차생성물 현상중의 하나인 산호형의 생성물이 있다.



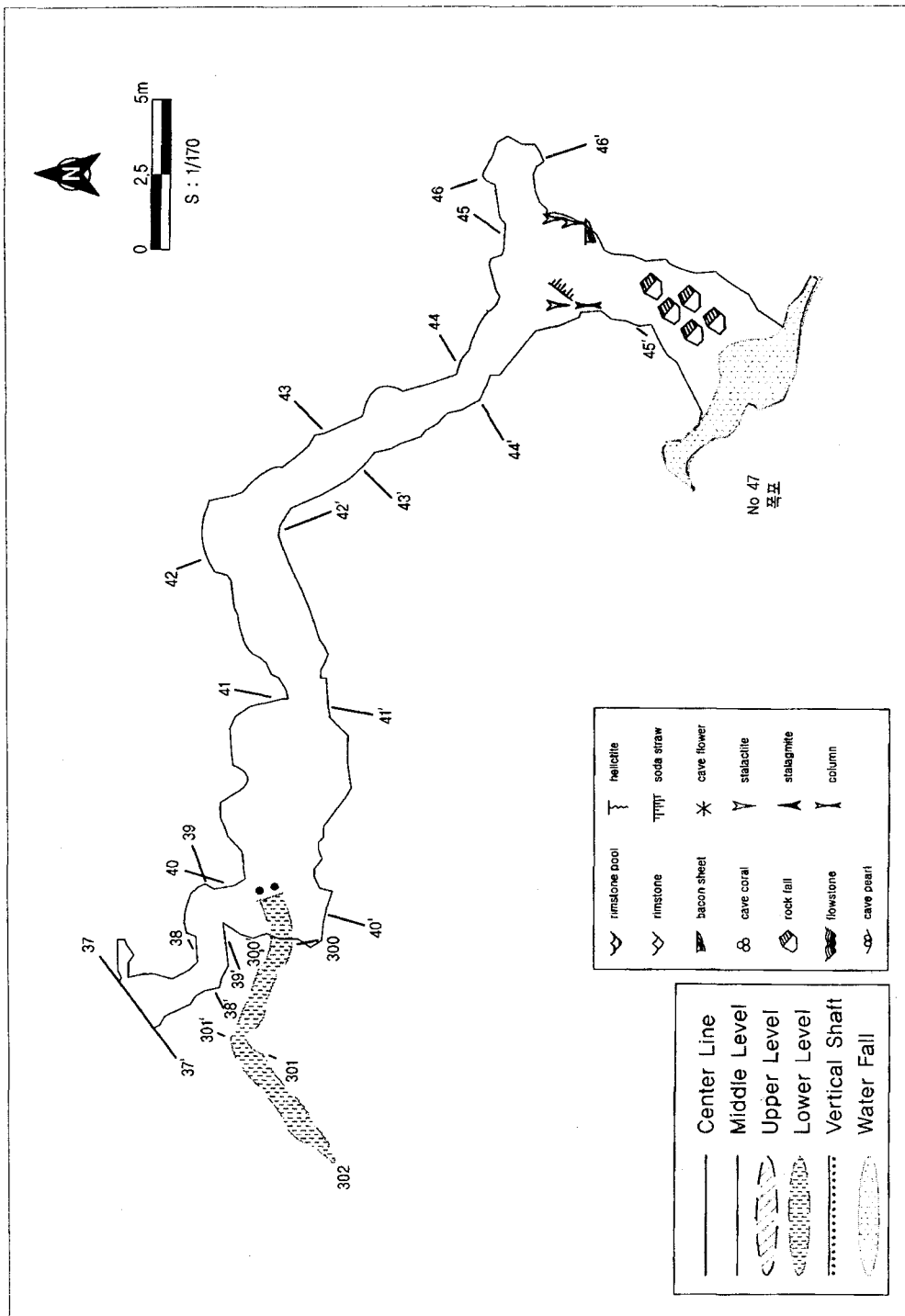
[그림 4] 양당리굴 III구역의 동굴생성물 분포도

다) III구역(횡단면 위치 28번 단면~38번 단면)

III구역은 28번부터 38번 횡단면까지를 포함하는 지역으로 평면도에 2차생성물의 위치를 표시하였다[그림 4]. 이 지역은 2층 구조로 되어 있는 지역으로 1층에는 좁은 통로와 소규모 광장들이 있고 2층에는 대규모 광장과 생성물들이 발달하여 있다. 좁은 통로를 통해 30번 지역에 도달하면 종유관과 연결된 석주가 나타나는데 이는 한정된 균열면으로 배출된 칼사이트 집중 집적현상으로 볼 수 있다. 31번지역에 다다르기 전에 통로에는 낙반지대를 지나게 된다. 이 지역에는 석화 형태의 생성물이 나타난다. 이 생성물은 동굴벽면에 노출된 칼사이트미네랄의 분산과정에서 형성된 지형으로서 동굴내의 칼사이트가 포함된 기류와 동굴벽면으로 유출되는 칼사이트의 혼합에 의하여 구성된 현상으로 볼 수 있다. 또한 여기에는 수중에서 형성된 산호형의 유석도 출현한다. 31번 지역에는 종유석, 석순, 석주 등이 다양하게 발달되어 있다. 동굴벽면을 따라 짙은 점토성의 플로우스톤이 30cm 높이의 석순을 잠식시키고 있는 형태를 보이고 있고 고점착성 칼사이트의 집적에 의한 220cm×40cm의 대형석순이 형성되어 있다. 동방 위쪽으로는 약 200cm×40cm의 대형석순이 있고 아래의 펜던트상에 두껍게 잔량이 피복되어 플로우스톤을 형성한 것으로 보아 상당한 점착성의 칼사이트 생성지로 여겨진다.

천정부에는 종유관과 종유석이 발달하여 있고 아래에는 굵은 석순이 발달하여 상하 2차생성물의 비대칭 침적작용이 본 동굴의 대표적인 첫 번째 현상으로 볼 수 있으며 누런 석순과 같은 짙은 점토성 불순물의 영향에 의한 누렇게 착색된 2차생성물이 본 동굴의 두 번째 대표적인 현상이다. 동공 가장자리 벽면에는 경사진 천정에서 중력방향으로 길게 늘어진 베이컨형의 생성물이 있다. 동굴 바닥에는 20cm×20cm와 60cm×40cm의 미백색의 석순으로 이러한 미백색의 석순은 동굴의 2차생성 배출 용해물의 농도와 상관성이 있다.

2층 동방의 2차생성물은 종유관, 종유석, 석순, 석주, 베이컨종유석 등 다양하게 발달되어 있다. 202번, 203번 지역은 종유석보다 석순의 침적현상이 탁월하여 칼사이트의 원형색을 보전한 석주화된 종유석과 석순이 있다. 그 좌측의 립풀은 현재의 수면으로 내려가기전에 형성된 구수면 형태를 유지하는 현상이며, 작은(1cm)석화의 군집들은 농도 짙은 칼사이트의 수분이 상호 침착되면서 형성된 것으로 팝콘같이 보인다. 그 옆에는 코끼리 형태의 종유석도 나타나고 구부러진 종유석과 석순이 맞닿는 모습의 생성물을 보여주고 있다.



(그림 5) 양당리굴 IV구역의 동굴생성물 분포도

이 지령이 같은 종유석 말단면의 색깔은 점토성 색상으로 착색된 것에 반하여 석주는 전혀 종유석 색상과 무관하게 회색을 가지고 있는 것이 특징이다. 동굴 천정부의 대형절리에는 균집형 종유석들이 출현하고 203번 지역에 위치한 커튼종유석은 좌에서 우측으로 이어진 커튼식의 2차생성물이다. 이 지역의 베이컨 시트는 경사진 천정의 수분흐름을 따라 형성된 베이컨형의 구조물로서 세로줄 무늬가 나타나는데 이것은 수분속의 점토질 광물이 혼색 강도에 따라서 다르게 나타난 현상이다. 203번 지역에 위치한 지형으로서 현재에도 끊임없이 자라나고 있는 종유석의 형태도 찾아볼 수 있고 다양하고 규모있는 석순군이 출현한다. 이들 석순은 종유석보다 석순(200cm×45cm)의 크기가 우월한 현상을 보이는데 대개가 수분속 칼사이트의 함량이 적을 때 나타나는 현상들이다. 누런색의 종유석군 사이에 균열된 틈으로 이물질의 착색없이 생성된 새로운 백색의 종유석도 있다. 203번 지역은 하나같이 일관된 형이 없고 제멋대로 형성된 2차생성물을 볼 수 있는데 이것은 칼사이트의 불규칙적으로 배출된 점성함유량, 불규칙적인 침출수의 수량정도차이 그리고 비정형적인 천정의 경사 형상의 차별성에 의해 노출된 지형이다.

205번, 206번 지역은 대형 석순과 종유석들이 잘 발달되어 있다. 205번 왼쪽 벽면에 발달한 약 2.5m의 긴 베이컨형상의 2차생성물은 대개 동굴의 한쪽으로 균열된 상부면으로부터 생성된 칼사이트의 현상이다. 천정부에는 대형 종유석이 형성되어 있고 주변 이물질인 망가니스나 점토질 등의 색조에 의하여 착색된 주변 형상을 가지고 있다. 그 아래쪽 벽면에는 고농축의 칼사이트가 집적된 유석과 종유석들이 있다. 이 지역은 상단동굴 통로중에서 가장 2차생성물의 노출이 많은 지역으로 대형석순과 유석이 밀집되어 있다. 또한 대형 석순 중에는 삼각형의 석순과 달리 상하 동일 두께의 석순이 나타난다. 206번 하단은 1층 통로와 수직으로 연결되어 있고 상단에는 펜던트상에 형성된 대형석순상의 매우 특이한 석주가 출현한다. 대부분의 펜던트의 형성은 동굴하천의 하각작용이 진전되기전에 구하상인 경우가 대부분이지만 이곳의 펜던트는 동굴 상부의 층리나 벽면의 층리가 이격되어서 형성된 것으로 볼 수 있다. 주변 2차생성물과 달리 이곳의 석순의 색깔이 회백색에 가까운 현상으로 보아 주변의 이물질의 영향을 받지 않은 것으로 판단된다.

라) IV구역(횡단면 위치 38번 단면~47번 단면)

IV구역은 38번부터 47번 폭포까지를 포함하는 지역으로 평면도에 2차생성물의 위

치를 표시하였다[그림 5]. 이 지역은 좁은 통로로 형성된 지역으로 2차생성물이 거의 발달되지 않고 막장부근에만 일부 발달된 지역이다. 45번 지역에 이르면 종유관, 종유석, 석순, 석주가 소규모로 발달되어 있다. 이 지역에 형성된 종유관형 종유석중에는 뒷벽면의 두꺼운 집착현상과 묽고 점토성분이 다량 함유된 2차생성물의 전형적인 현상으로 점토성 종유석이 있다. 46번에서 47번 사이에는 낙반이 형성되어 있고 47번에는 우기때 1m정도의 폭포가 형성된다.