

# 고씨동굴의 내부지형에 관한 특성과 형성과정

오종우(경희대학교 강사)

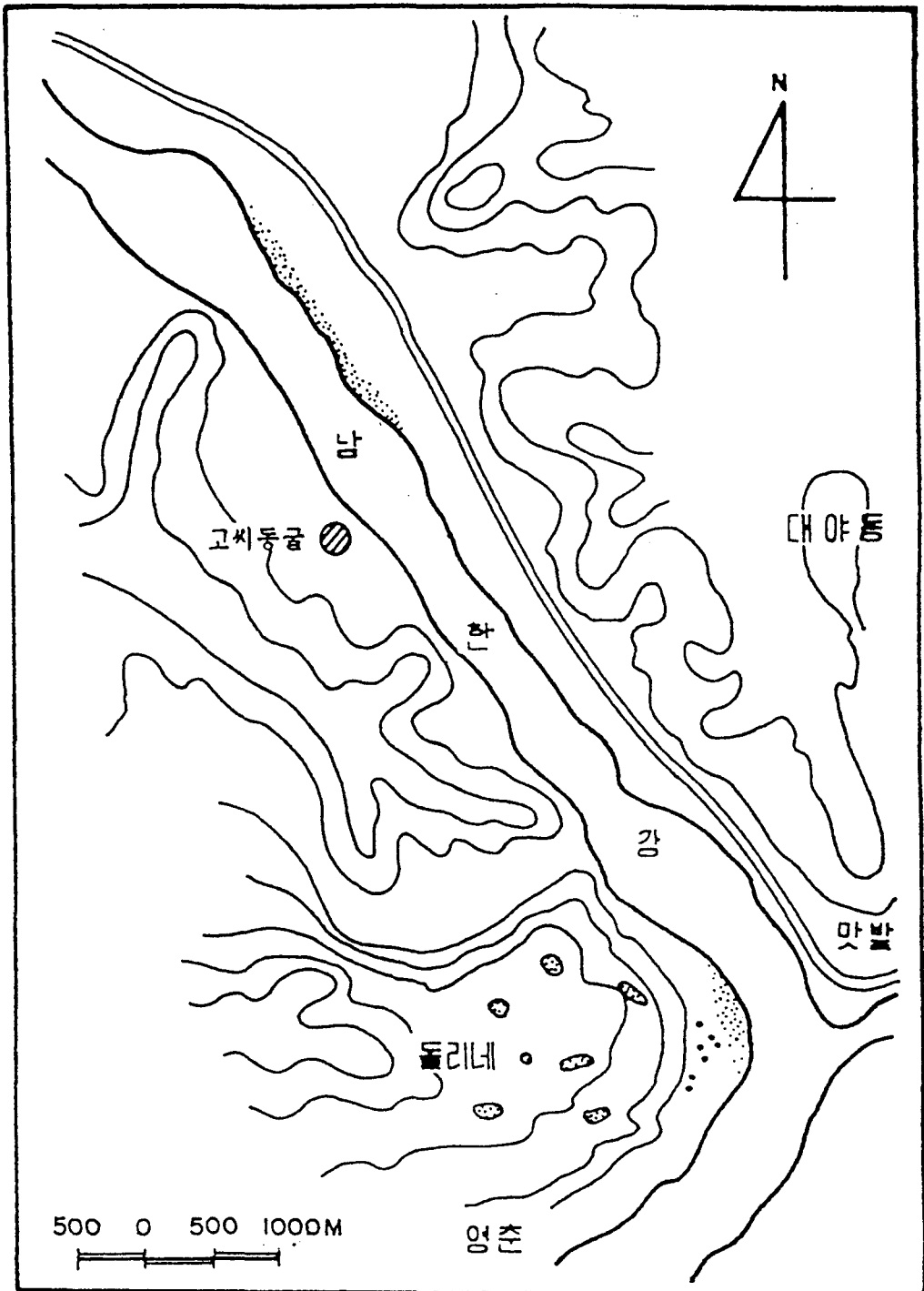
- |               |                 |
|---------------|-----------------|
| I. 서론         | II. 동굴 내부지형의 분류 |
| III. 동굴지형의 특성 | IV. 동굴지형의 형성과정  |
| V. 결론         | VI. 참고문헌        |

## I. 서론

高氏洞窟은 산지지역에 형성되어있는 일명 山岳카르스트(Alpine karst)이다. 본 동굴은 태백산맥의 서향산지와 소백산맥의 분기점 북부 산지 사이에 위치하고있으며, 주변산맥들은 대화산(1027m: W 4.5km), 계족산(1013m: N 5.2km), 응봉산(1013m: NE 6.2km) 등으로 거의 峯高同一性 산지들로 둘러싸여있다. 산지의 형상은 데이비스(Davis)의 지형윤회설에 의하면 침식에 의한 산지의 개석이 진전되고 계곡이 깊고 경사가 비교적 급준한 만장년기 지형에 속한다.

고씨동굴의 해발고도는 약 180m 이고 比高는 남한강 河床으로부터 약 30m 이며, 옥동천이 남남서 약 1.8km 지역에서 남한강본류로 유입된다. 嵌入曲流川(Incised meander)의 특성이 본지역이 전반적인 하천형상이지만 본 동굴이 위치한 하안에 연하여서 거의 직류천의 구배형상을 나타내고있다. 동굴의 동쪽사면에서 발달된 소규모의 扇狀地와 하안의 활주사면에 대응하여 동굴주변사면은 공격사면의 형상을 나타내고있어 사면각이 거의 70-80도(河岸 주변)와 40-50도(山麓面)의 급준함을 가진다.

본 동굴의 남쪽 각동리에는 하안으로부터의 비고 약 5-110m (해발고도 약 175-280m)의 河岸段丘地形(동서 약1500m, 남북 약 1300m)이 형성되어있으며, 6-7개의 와지(窪地: doline)형이 분포하고있다. 각동리 단구지



(그림 1 ) 고씨동굴의 입구와 돌리네지형의 분포

형은 동굴의 입구로부터 남동쪽으로 약 2500-3500m 떨어져 있으며 상부 단구면에는 카르스트 용식작용에 의하여 형성된 함몰지형인 돌리네가 다수 노출되어있다. 이는 동굴의 고도와 밀접한 지형발달사적인 연관성이 내포하고 있다고 할 수 있다. 왜냐면 현 동굴입구의 해발고도(180m)와 와지의 해발고도(약 175-250m)의 상관관계는 거의 일치하기 때문에 침식 기준면이 현 河床面(150m)까지 하강하기전의 水文的인 활동에 의해 카르스트지형(동굴과 와지지형)의 성인적인 요인을 인정할 수 있다. 그러나 이들 돌리네의 위치는 동굴의 연장선의 끝부분 지점과는 일치되지는 않은것으로 해석된다. 왜냐면, 본 동굴의 발달 방향이 남서향으로 발달된 것으로 대조해 볼 때 그 연장선은 역시 이들 돌리네 지역과는 동일한 방향이 될 수가 없는것으로 결론지을수 있다. 그렇지만 와지지형은 지하동굴지형의 존재를 암시해주는 지표의 반응지형인 만큼 그 아래 동굴체계가 상존하고 있다고 판단되며, 고씨동굴과 인접해 있기 때문에 지하의 동굴지선들이 상호 연관 되어있을 수도 있다고 예상된다.

추가적인 가설은 아직 발견되지않은 상단단구가 상기 지시한 고도 이상에서 존재하고 이다는 것이다. 왜냐면 남한강의 하성단구는 지반용기의 흔적에 의한 4에서 5단에 이르는 다양한 단구가 형성되어 있을 뿐만 아니라, 석회암지대에서는 그 현상이 동굴의 출현으로서 더욱 명백한 지반의 용기에 따른 침식기준면의 하락현상, 하도의 변천, vadose 동굴의 형성, 그리고 하성단구의 생성 등이 형성된다.

동굴의 형성이 지하수와 하천수의 이입과 배수작용에 의한 河成侵蝕地形的 결과인 만큼, 현 하천의 발달과정중에서 어느 한 시점과 그 관련성을 유추해 볼 수 있겠다. 특히 지형의 발달과정중 외인적인 작용과 내인적인 작용을 동굴의 성인과 연관시켜 볼 때, 外因的인 해수면의 乘降作用과 內因的인 지반의 隆起作用이 대표적이다. 이들 작용은 각기 동굴의 형성에 영향을 미칠 수도있지만 내인적인 것과 외인적인 작용이 동시에 이루어질 경우도 있겠다. 해수면의 승강운동은 新生代 제 4기 동안 (약 1600-2000만년) 수 차례의 변동에 의해 지표면의 침식과 퇴적운동을 유

발시켰으며, 카르스트지형의 형성을 지표(둘리네)나 지하(동굴)에 형성시켰다.

태백산맥의 대부분이 용기작용에 의한 지괴인 만큼 대부분의 암석계가 퇴적암으로 형성되어 있으며, 카르스트지형의 모암인 石灰岩과 白雲岩이 본 지역에 넓게 분포하고 있다. 본 연구지역의 基盤岩은 古生代 오도비스기(Ordovician)의 정선석회암(혹은 두위봉석회암: 정창희, 1994) 으로서 암회석이며, 쥐라기(Jurassic)의 지각운동에 의한 습곡의 흔적이 동굴의 외부와 내부지형에 탁월하게 나타나있고, 向斜(Sincline) 보다 背斜(Anticline)구조의 노출이 현저하다.

본 기반암층을 덮고있는 토양은 석회암 風化土(Carbonate residual soil)로서 적갈색을 띠며, 대부분의 암층상에 분포되어 被覆카르스트(Overburden karst)의 특질을 가진다. 피복카르스트는 대개 한국과 같은 온대지방 석회암지대에서 형성되는 특징이 있으며, 열대지방에서는 주로 露出카르스트(Exposed karst: Karren field) 지형이 탁월하다.

카르스트 수문학적인 측면에서 볼 때 카르스트 湧泉水(Karst spring)가 동굴입구의 하부지점인 江岸에 연하여 한 군데 있을뿐 주변의 斷崖지역에는 그 흔적이 나타나지 않고있다. 용천수의 위치가 동굴입구로부터 30m 아래에 위치한 것으로 보아 동굴내의 主窟의 하부에는 다수의 支窟 체계가 형성되었다고 단정할 수 있다. 이는 결국 산지에서 지표수가 지하로 스며들거나 삼투되어 동굴체계의 지하수로를 거쳐서, 현 侵蝕基準面인 남한강의 하안으로 용천하는 현상인것이다. 따라서 산지지표면에는 乾谷(Dry valley)이 형성되어있기 때문에 지상의 수계망이 노출되지않는 전형적인 카르스트 지표지형을 유지하고 있는것이다.

각동리의 하성단구상에 발달된 둘리네 지형은 폭이 약 35m 에 깊이가 약 6m 인 와지지형은 함몰둘리네(Collapsed doline) 이기 보다는 용식둘리네(Solutional doline)로 성인적 구분이 될 수 있다. 인접지역의 둘리네의 형상이나 규모는 전자와 거의 비슷한 지형으로서 동굴의 확장이 지표면에 가까운 영향에 의한 지표면의 함몰의 원인 보다는 지표지형의 용

하천의 흐름에 의한 격심한 영향으로서 형성된 것이지만, 지하의 탁장에서 형성된 연장과 연결성은 전혀 배재하지 않을 수 없는 것  
주변지형에는 석회암의 노출이 침정암형의 카렌(Karren)이 다수  
하며, 석회암이 용식작용으로 카렌화되는 과정에서 형성된 토양인  
토(Residuum)로서 철분의 함양에 의한 산화현상으로서 붉게 나타나  
점토광물이 풍부하여 토양의 점성이 매우 강한것이 특색이다. 그외  
토의 발달이후에 잔류하고 있는 카렌현상의 석회암 특수지형이 형성  
있다.

동굴 내부지형의 분류

. 고씨동굴지형의 형성구조에 따른 분류.

형 \ 형성구분	지질구조	하천구조	용식구조	기타
형의 종류	배사구조 향사구조 단층구조 습곡구조 절리면 층리면	건조공동 2단공동 수직공동 종혈 암석단구 선반 연못 굴천 굴천 퇴적물	종류석 석순 석주 유석 석회화댐 석회화단구	입구형상 광장

1. 동굴지형의 특성

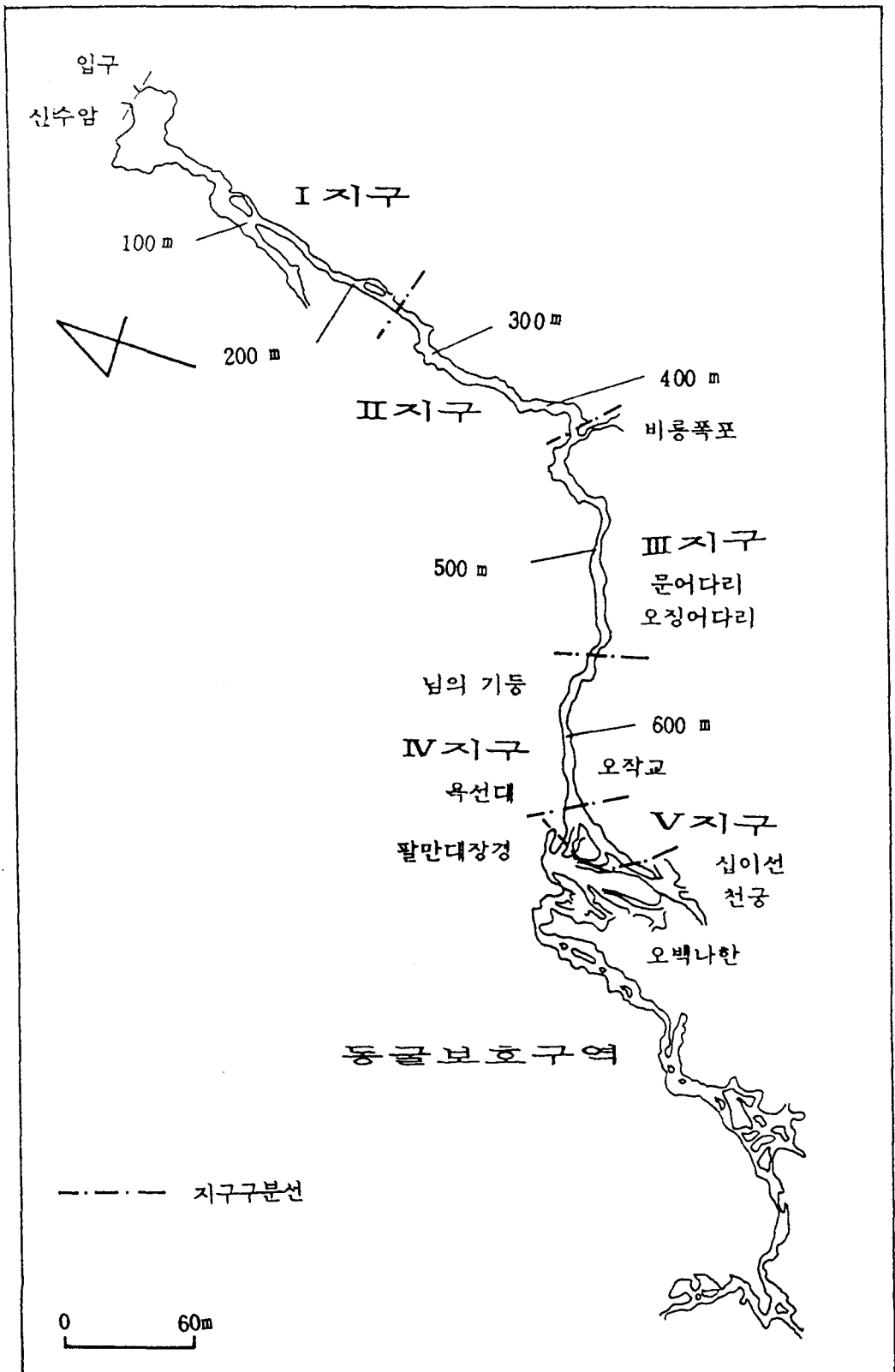
- 背斜構造(Anticline sturcture): 본 동굴의 형성은 습곡구조

에서 나타나는 배사와 향사구조와 밀접한 관련성이 있다. 특히 동굴이 위치한 강안 좌우측의 하안단애상에 나타난 배사구조 이외, 동굴입구의 좌측 그리고 입구와 연결된 동굴광장에는 2-3개의 배사와 향사구조가 露頭(Outcrop)에 나타나 있다. 배사핵(Anticline core)구조가 동굴내외부에 노출되어 있으며, 배사두부에서 약 80도의 급경사로 층리가 좌우측 날개를 유지하고있다. 이들 날개 사이의 층리에 생긴 균렬면(2차적 삼투: Secondary permeability) 등이 지하수의 배출을 허용하게 되어, 결국 동공의 확장과 동굴의 발달을 유발시키게 된 주요한 지질구조적인 인자라고 할 수 있다.

- 乾燥洞空(Vadose tubes): 동굴의 입구를 지나 약90m까지는 동굴의 형상이 단조하고 건조하여, 동굴생성물의 흔적이 전혀없는 공동(空洞)의 형상을 나타낸다. 이는 균렬면의 발달이 전무하여 지하수의 滲透현상도 없을뿐만 아니라 연결된 주굴의 굴하천과도 전혀 현재로서는 연관성이 없는 일명 殘存洞空(Relict tube)인 것이다.

- 鐘穴(Bellholls): 동굴의 최초생성과 매우 연관이 깊은 동굴 천정지형으로서 종모양의 구멍이 동굴의 천정에 독립적으로나 아니면 복합적으로 형성되어 있는 현상이다. 동굴의 입구에서 약 100m 지점과 약 200m 자점 등에 다수 출현된다. 규모는 폭약 50-90m, 깊이 약 60-80m의 유형이다.

- 岩床段丘(Rock terraces): 동굴의 벽면에 주로 나타나는 현상으로서 벽면의 양안이거나 혹은 한 측면만이 움푹 패인 형상을 말한다. 본 현상은 주로 窟河川의 유수작용에 의한 침식현상으로서 대개 직류인 굴하천의 경우는 段狀이 양안에 나타나며, 곡인 경우는 측방침식작용에 의한 한 측면에서만 나타나는 경우가있다. 이는 기후적인 현상의 강수의 증가나 혹은 지반의 용기작용에 의한 굴하천의 침식기준면이 급격히 하락하는 과정에서 나타난 결과이기 때문에 동굴의 형성과 관련된 기후적인 또는 용기적인 기록 등을 제공해주는 주요한 地史의인 단위이다. 본 동굴에서는 다수 있으나 주로 100-150m 사이에 단독적이거나 복합적으로



(그림 2) 고치동굴의 지역구분

형성되어 있다. 크기는 대개 폭이 약 50-100cm이며 깊이가 약 80-120cm.

- 旋盤(Canopies): 동굴의 벽면에 선반같은 형상으로 붙어있는 고퇴적물의 잔형지형이다. 이는 굴하천에 의한 퇴적과 침식지형으로서 동굴의 발달과정을 추정하는데 매우 중요한 지형자료를 제공한다. 특히 퇴적물의 구성물질이 동굴내부의 암석의 쇄설물이 아닌 동굴외부에서 유입된 규암이나 가넷(Garnet) 등으로 구성되어 있으며, 퇴적물의 력의 圓形度(Roundness)가 아각력에서 아원력 등 하천유수의 작용 흔적이 확인되었다. 이런 현상으로 볼 때, 본 동굴은 외부의 하천이 동굴의 내부로 일시적으로 유입된 河川性 洞窟인 것으로 판명되었다.

선반지형의 형성요인은 암상단구의 것과 밀접한 관련이 있다. 왜냐하면 두 지형 공히 용기작용과 같은 내인적이거나 혹은 해수면의 하강작용과 같은 외인적인 영향에 의해 굴하천의 침식기준면이 강하할 때 下刻作用(Degradation)에 의해 형성된 잔형지형이기 때문이다. 두 지형간의 상이점이라면 암상단구지형은 퇴적물이 단구주변에 없으나, 선반지형은 퇴적물이 탄산칼슘( $CaCO_3$ )을 함유한 유수의 영향으로 고화되어 남은 石灰殼化物(Calich)의 차이점이 있다.

선반지형을 통하여 동굴의 퇴적현상과 침식현상에 의한 지형을 동시에 관찰할 수 있는 매우 중요한 지형단위 일뿐만 아니라, 퇴적지형지물의 분석여하에 따라서 동굴의 형성이후에 발생되었던 기후변동에 의한 수문환경과 수문작용에 의한 지형환경 그리고 지형작용에 의한 동굴환경을 유추할 수 있는 종합적인 자료를 제공한다. 더군다나 선반퇴적물의 분석을 통하여 주변지역의 지형적인 발달과정의 규명에 용이한 地域地形的(Regional gology)인 기록단위인것을 알 수 있다. 본 동굴에서 나타난 선반지형은 몇 군데 있으나 우선 입구로부터 약 300m 지점(높이 약 250cm, 폭 약 40cm, 너비 약 200cm, 길이 약 150cm)에 있다. 또한 작은 규모로서 그 위치는 입구로부터 약 400m 와 430m에서 출현되고 있다.

- 二段 洞空(Double level passages): 동굴의 발달과정이 수직으로 연결된 2단의 동굴형을 말하며, 입구에서 약 200m 지점에서 출현되



며, 현재 상단에서 하단으로 주굴이 연장되어 관광코스가 개척되어있다. “고씨의 거실” 과 같이 수평으로 연장된 지류는 동굴의 일반적인 지형이지만, 2단의 동공지형은 동굴의 형성과정적인 측면에서 규명할 수 있다. 동굴의 형성시 퇴적암의 층리면이나 균열면을 따라 시작된 싹뿔 같은 시초의 형상은 시간적인 경과와 지하수량에 증가라는 중요한 인자의 영향으로 확대되지만, 결국 상하단의 분리현상은 지하수면(Water table)의 하강현상에 의한 잔존지형(Relict topography)이라 할 수 있다. 하단동공의 형성과정은 암상단구와 선반지형의 형성에서 나타나는 침식기준면의 하락이라는 인자와 밀접한 관련이있다.

- 石灰化댐(Rimstone dam): 방해석의 광물이 하상에 집적되어져 마치 산간지의 계단농지와 같은 지형으로서, 굴하천의 유속이 매우 느릴 때에 형성된다. 본 굴에서는 약 220m 지점에 2단 동공의 하단부 하상에 건조된채로 남겨져있고, 약 430m 지점에는 보다 큰 규모가 잔잔한 유수와 함께 현존한다.

- 垂直洞空(Vertical shaft): 대하천의 작용이 동굴의 형성에 가장 대표적으로 남겨는 지형으로서 굴하천 사행(Meandering)과 단구와 함께 수직원통모양의 동공이 동굴의 지류와 연결된 지형을 뜻한다. 입구에서 약 450m 지점의 수직확장된 동굴의 상부쪽으로 형성되었으며, 약 35-40m의 높이에 그폭이 3.5m에 이른다. 이는 외부하천이 내부의 굴천으로 유입된 증거로서 상부 혹은 꼭대기 측면에 층리면을 따라 유입된 통로와 연결된 것을 발견할 수 있는 것이다. 이는 동공의 확장과 밀접한 영향이있다.

- 流石沈積岩(Speleothem): 유석침적암은 동굴내외에서 탄산칼슘에 의한 집적현상으로서 다양한 형상을 가지지만, 지하동공의 발달이 활성화될 때 보다 일단 동공이 확장된 후에 유석침적암지형이 다량형성되며, 굴하천에 의한 하각작용이 재활동하는 과정주에서도 또한 그후에도 형성될 수 있다. 특히 그 발달은 동공이 沈水상태(Phreatic zone) 보다 乾水상태(Vadose zone)에서 주로 형성되며, 다량의 침적이 동공내에 이

루어지면 결과적으로 동공은 오히려 매립되어 축소되는 것이다. 유석침적암지형의 종류를 보면 종류석, 석순, 석주, 유석, 석회화단구, 동굴진주, 석화, 침석(tufa) 등이 있다.

a. 鍾乳石(Stalactite)은 동굴내의 균렬면을 따라 탄산칼슘의 침전수의 응집으로 주로 천정에서부터 형성된 고드림과 같은 형상으로서 질모양으로부터 큰기둥 같은것 등의 규모가 다양하다.

b. 石筍(Stalgmite)는 종류석에서 탄산칼슘이 응키고난 이후, 잔존 칼슘함양의 물방울이 동굴바닥에 낙지하여 상향으로 성장하는 형상으로서, 상부의 종류석과 하부의 석순이 연결되면 결국 기둥모양의 석주(Column)가 된다.

c. 流石(Flowstone)은 탄산칼슘을 함유한 물방울이 균렬면으로 나와 벽면을 따라서 흘러 침적된 현상을 말한다. 우선적으로 2차삼투에 해당되는 단층면, 습곡면, 층리면, 균렬면 등이 동굴내부에 형성된 상태에서 얼마나 많은 함양의 탄산칼슘이 유입되어 나오느냐에 따라서 유석의 형상이 단순할 수도 있고 반대로 매우 다양한 온갖 형상을 창출해낼 수 있다. 그 종류로는 유석에서 연결된 형상으로서 커튼과 같은 'Drapery' 혹은 'Bacon' 등이 있다.

d. 石灰化段丘(Rimstone dam)는 동굴의 바닥에 형성되는 현상으로서 주로, 주굴의 굴하천에서 연결된 지굴의 소규모 하천에서 유량이 매우 소량 일때, 탄산칼슘이 바닥에 모여져서 마치 산간지의 계단농토와 같은모양의 단구가 생성된다.

e. 洞窟鑲珠(Cave pearl)는 세 가지종류로 구분된다: 개별형상의 구경이 2mm 이하 일때 이를 卵石(Oolites)이라 하고, 2mm이상이며 불규칙적인 형상일때 漸岩石(Pisolite)이라 하며, 동굴진주는 대체적으로 8-15cm에 1kg의 규모를 뜻한다. 형성과정은 박쥐의 배같은 미량의 유기물 조각이나 모래와 같은 무기물 등(핵)이 주변에서 이입되는 탄산칼슘수가 조금씩 겹쳐져서 점차 커지는 단계에서 그 형상이나 규모에 따라 상기와 같이 구분된다.

f. 石花(Cave flower; Helectite)는 동굴의 천정이나 벽 또는 바닥에서 형성된 각종 모양으로서 주로 꽃모양이 많으며, 나선형의 형상도 벽 등지에서 그리고 수정화된 삼가형상 등이 천정에 혹은 바닥에 출현되는 매우 다양하게 나타난다.

g. 沈石(Tufa)은 유일하게 동굴에서 벗어나 동굴에서 유출되는 폭포(Fall)나 동굴용천(Spring) 등의 외벽이나 그 하단부에 형성침적된 형상을 말한다. 이는 용해된 탄산칼슘이 동굴내에서 응집된 후 나머지의 분량이 동굴의 외벽이나 동굴에서 연결되어 형성된 외부의 하천 바닥면에 침적되어 형성된 침석댐(Tufa dam)등의 지형을 말한다. 그 규모는 수 십 센티미터에서 수 십 미터에 이르기 까지 매우 다양하다.

고씨굴의 石鍾流 현상은 동굴 입구광장에 다수 출현하지만 광장을 지나 약 150m까지는 전무하며, 약 150m 지점부터 큰 규모의 유석(높이 약 1.5m, 폭 약 1.2m)과 약 250m 지점의 천정에 유석(길이 약 1.6m, 폭 약 0.8m)이 독립적으로 출현할 뿐 매우 그 빈도가 적은 편이다. 그러나 약 300m 지점부터 동굴의 규모가 수직으로 약 5배 가량 확대되면서, 내부 지형이 매우 복잡적이고 불규칙한 상태에 다량의 방해석에 의한 지형형상이 발달되어 있다. 주로 상단부에 대규모적으로 발달되어 있어 지하수의 삼투작용과 층리의 균렬작용간에는 그 형상에 필요한 적절한 요소가 잘 배합된 흔적을 알 수 있다. 도면에 의한 지역으로서 “꿈에 궁전”이나 “나이가가라 폭포” 그리고 “극락동”에는 대규모광장 주변에 동굴 최대의 석종류지형이 형성되어 있어 고생대석회암의 높은 순도의 탄산칼슘의 함양을 가늠할 수 있다.

#### IV. 동굴지형의 형성과정

고씨동굴은 동굴의 고도와 주변 카르스트지형간의 밀접한 지형발달사적인 연관성이 내포하고있다. 왜냐면 현 동굴입구의 해발고도(약 180m)

와 와지의 해발고도(약 175-250m)의 상관관계는 거의 일치하기 때문에 침식기준면이 현 하상면(150m)까지 하강하기전의 수문적인 활동에 의해 카르스트지형의 성인적인 요인을 인정할 수 있다. 특히 동굴의 형성이 지하수와 하천수의 이입과 배수작용에 의한 하성침식지형의 결과인 만큼, 현하천의 발달과정중에서 어느 한 시점과 그 관련성을 유추해 볼 수 있겠다. 특히 지형의 발달과정중 외인적인 작용과 내인적인 작용을 동굴의 성인과 연관시켜 볼 때, 외인적인 해수면의 승강작용과 내인적인 지반의 용기작용이 대표적이다. 이들 작용은 각기 동굴의 형성에 영향을 미칠 수도있지만 내인적인 것과 외인적인 작용이 동시에 이루어질 경우도 있겠다.

해수면의 승강운동은 신생대 제 4기 동안 (약 1600-2000만년) 수 차례의 변동에 의해 지표면의 침식과 퇴적운동을 유발시켰으며, 카르스트지형의 형성을 지표 (와지, 침정암, 복합와지, 플리에, 용천수, 침석, 침석담 등)나 지하(동굴: 각종 동굴지형)에 형성시켰다. 다음은 동굴의 발달과정과 관련된 지질적인 지형적인 단위에 대한 해설이다.

(1) 배사와 향사(Anticline/Sincline)구조가 동굴내외부에 노출되어 있으며, 배사핵에서 약 80-90도 이상의 급경사로 층리가 좌우측 날개를 유지하고있다. 이들 날개 사이의 층리에 생긴 균열면(2차적 삼투)등이 지하수의 배출을 허용하게 되어, 결국 동공의 확장과 동굴의 발달을 유발시키게 된 주요한 지질구조적인 인자라고 할 수 있다.

(2) 2단 동공(Double level passages): 동굴의 발달과정이 수직으로 형성된 2단의 동굴형을 말하며, 동굴의 형성시 퇴적암의 층리면이나 균열면을 따라 시작된 실핏줄 같은 시초의 형상은 시간적인 경과와 지하수량에 증가라는 중요한 인자의 영향으로 확대되지만, 결국 상하단의 분리현상은 지하수면(Water table)의 하강현상에 의한 잔존지형(Relict topography)이라 할 수 있다. 하단동공의 형성과정은 암상단구와 선반지형의 형성에서 나타나는 침식기준면의 하락이라는 인자와 밀접한 관련이있다.

(3) 수직동공(Vertical shaft)은 대하천의 작용이 동굴의 형성에 가장 대표적으로 남겨놓는 지형으로서 굴하천 사행(Meandering)과 단구와 함께 수직원통모양의 동공이 동굴의 지류와 연결된 지형을 뜻한다. 이는 외부하천이 내부의 굴천으로 유입된 증거로서 상부 혹은 꼭대기 측면에 층리면을 따라 유입된 통로와 연결된 것을 발견할 수 있는 것이다. 이는 동공의 확장에 따른 동굴의 발달과정과 밀접한 관련이 있다.

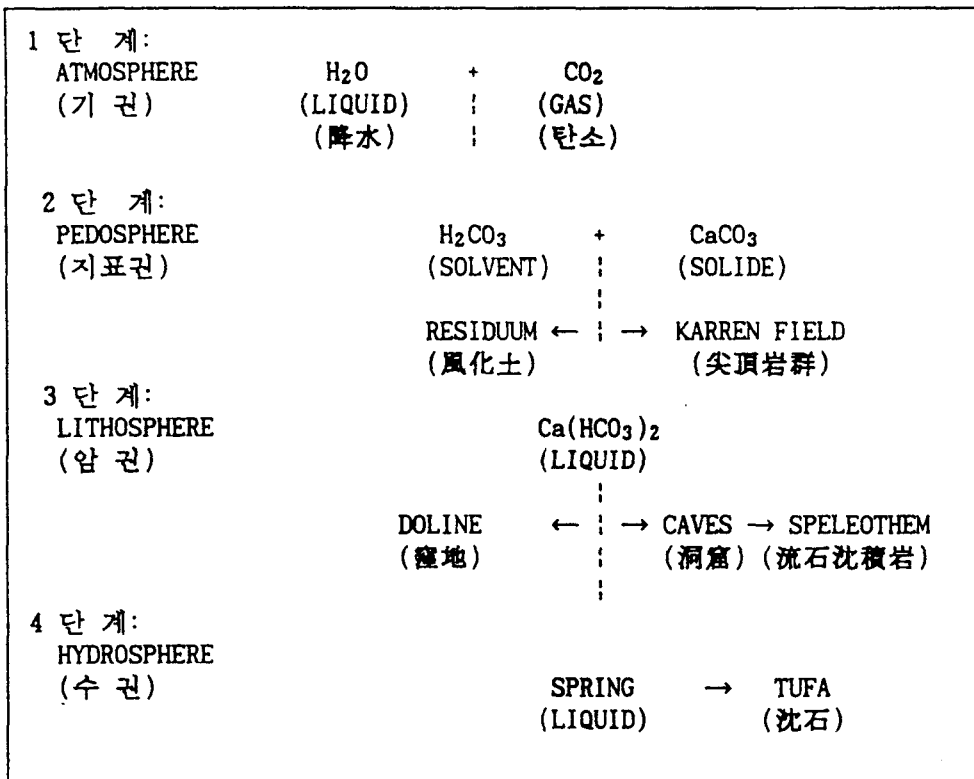
(4) 선반지형(Canopy)은 동굴의 벽면에 선반같은 형상으로 붙어 있는 퇴적물의 잔형지형으로서 굴하천에 의한 퇴적과 침식지형으로서 동굴의 발달과정을 추정하는데 매우 중요한 지형자료를 제공한다. 특히 퇴적물의 구성물질이 동굴내부의 암석의 쇄설물이 아닌 돌굴외부에서 유입된 규암이나 가넷(Garnet) 등의 비석회암으로 구성되어 있으며, 퇴적물은 방해석에 의해서 碎屑岩(Clastic rocks)化 혹은 石灰殼化物(Calich)의 고화된 상태로 형성되어 있으며, 이중 礫의 圓形度(Roundness)가 아각력에서 아원력 등 하천유수의 작용 흔적이 확인되었다. 이런 현상으로 볼 때, 본 동굴은 외부의 하천이 동굴의 내부로 일시적으로 유입된 하천성 동굴인 것으로 단정할 수 있다.

기후적인 측면에서 이를 해석해 볼 때, 상기 현상은 강수의 증가나 혹은 지반의 용기작용에 의한 굴하천의 침식기준면이 급격히 하락하는 과정에서 나타난 결과이기 때문에, 동굴의 형성과 관련된 기후적인 또는 용기적인 기록 등을 제공해주는 주요한 지사적인 단위로서 존재하고 있다.

선반지형의 형성요인은 암상단구의 것과 밀접한 관련이 있다. 왜냐하면 두 지형 공히 용기작용과 같은 내인적이거나 혹은 해수면의 하강작용과 같은 외인적인 영향에 의해 굴하천의 침식기준면이 강하할 때 하각작용(Degradation)에 의해 형성된 殘型地形이기 때문이다. 두 지형간의 상이점이려면 암상단구지형은 퇴적물이 단구주변에 없으나, 선반지형은 퇴적물이 탄산칼슘수의 영향으로 고화되어 남은 석회각화물의 차이점이 있다. 이는 고씨동굴의 퇴적현상과 침식현상에 의한 복합지형으로 구분되

며, 퇴적지형지물의 분석여하에 따라서 동굴의 형성 이후에 발생되었던 기후변동에 의한 수문환경과 수문작용에 의한 지형환경 그리고 지형작용에 의한 동굴환경을 유추할 수 있는 종합적인 발달과정을 대변해주고있다.

그림 3. Karst의 발달과정 (Genetic Karst Cycles) 4단계(오종우, 1993).



- 1단계 : 대기중에서 빗방울이 CO<sub>2</sub>의 용합으로 산성비가 되어 석회암에 落地하여 용식작용의 조건을 제공해 준다.

- 2단계 : 가용성 화합물과 植生腐植에 의한 토양 (Humic acidic soil) 에 의해 기반암의 용식이 촉진 되며, 풍화토 (Residuum)를 생산하고 침정암대 (Karren Field)를 남긴다.

- 3단계 : 용식작용에 의해 지상에는 모암의 균열이 확대되어 와지를 형성하고, 지하의 공간이 지하수의 유입과 유출에 의해 확대되어 동굴 (Conduites: Voids: Shaft)이 형성된 후 탄산염의 지속적인 분해 공급에 의한 종류석, 석순, 유착석 등의 새로운 동굴지형 (Speleoscape) 을 조성한다.

- 4단계 : 동굴을 통한 지하수는 외부로 잔여 CaCO<sub>3</sub>를 함유한 채로 유출(Spring) 된다. 잔여 CaCO<sub>3</sub>는 하천유역에 침전시켜서 동굴 외의 석회화 단구형의 집적지형 (Tufa Formation)을 최종적으로 형성한다.

## V. 결론

고씨굴의 내부지형에 관한 특성과 형성과정에 대한 미지형적인 분석과 발달과정을 검증해본 결과 고씨굴은 남한강의 하성작용에 의한 vadose cave의 특성을 가지고 있으며, 하천의 침식기준면이 하강함에 따라서 2차적 삼투력(secondary permeability)의 확장작용으로서 동굴의 형상이 조성되었으며, 동시에 습곡과 단층 그리고 층리면의 지질적인 구조에 의하여 동굴의 주향이 발달한 것이라 내부의 형상이 경사가 급하고 지굴의 발달이 다양한 것으로 해석된다.

## VI. 참고문헌

- 강승삼 (1977) 충북의 karst 지형, 청주대학교 논문집 10, 263-281
- 강영복 (1992)(in press) 한국 고생대 석회암지역의 karst 와 토양생성작용: 영월 평창 삼척, 한국지구과학회지 13(2)
- 김대경 (1976) Karst 지형에 관한 연구: 전주부근의 limestone 의 분포지역을 중심으로, 전주교대 논문집 12, 167-185
- 김대경 (1978) Karst 지역에 관한 연구: 태백산 지역을 중심으로, 건국대학교 석사논문, 215-228
- 김대경 (1978) Karst 지형 연구, 건국대학교 논문집 8
- 김대경 (1980) Karst 지형에 관한 연구, 전주교육대학논문집 제 16집
- 김점득, 1984, 문경지역 카르스트 지형연구, 경북대 교육대학원 석사논문
- 김주옥 (1981) 강원도 旌善 臨溪지역의 karst 지형 연구, 한국 동굴학회지, 6(7), 28-31
- 권오균 (1984) 삼척지역 karst, 강원지리
- 박관섭 (1971) 한국의 Karst 지형연구, 건대지리학보 2
- 박관섭 (1976) 仙遊山지역의 karst cycle 고찰, 한국동굴학회지, 2, 14-17
- 박관섭 (1979) 일본종유동굴지형의 karst cycle 고찰, 동굴 4
- 박노식, 1974, 동굴과 인생, 동굴학회학술발표문
- 박노식, 1975, 우리나라 동굴학의 오늘과 장래, 동굴학회지 1호
- 박병수, 1981, 우리나라 동굴의 일반적 특성 동굴연구 No.1
- 서무송 (1966) 한국의 karst 지형: 閔三 未老지역을 중심으로, 지산선생 회갑기념논문집, 69-78
- 서무송 (1969) 한국의 karst 지형: 삼척일대의 지형발달을 중심으로, 경희대학교석사논문



서무송 (1977) 성류굴에 대한 동굴지형학적 고찰, 효천 박관섭 교수 頌壽기념논총, 187-204

서무송 (1977) 한국의 석회암 동굴산 Pisolite에 관한 연구, 지리학 16

서무송 (1978) 한국의 동굴산 2차생성물에 대한 몇가지 연구, 응용지리 4

서무송 (1985) 강원도 지역산 karst 주변 지역의 동굴광물에 관한 연구, 매헌 홍시환박사 회갑기념 논문집

서무송 (1986) 경상북도 문경일대의 karst 지형과 동굴광물, 지리학연구 11, 71-81

석동일 서무송 남궁준 (1987) 한국에 동굴, 아카데미서적, 283p

성효현 (1977) 석회암지대의 하계특색, 녹우회보 19

오종우, Michael Day, 1991. Sediments of the Seneca Sinkhole in the southwestern Wisconsin. The Wisconsin Geographer 7. 25-39.

오종우, M. Day, B. Gladfelter, G. Fredlund, G. Huppert, M. Kolb, 1991, Potential sources of the sinkhole sediments in the Wisconsin Driftless Area. 지리학총 19. 31-58.

오종우, 1992, Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area Karst. University of Wisconsin Ph.D Dissertation. 201p.

오종우, M. Day, B. Galdfelter, 1993, Geomorphic Environmental Reconstruction of the Holocene Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area. 1993년도 세계한민족과학기술자 종합학술대회 논문집-기초과학분과(지구과학)-. 한국과학기술단체 총연합회. 390-397.

오종우, 1993, Karstic Sinkhole Sediments of Dolostone in the Upper Midwest's Driftless Area, USA. 동굴 34(35). 78-104.

오종우 외 8인, 1993, 용연동굴 내부 개발기본구상 및 실시계획 (지형분야). 강원도 태백시. 254p.

오종우 외 12인, 1993, 만장굴 학술조사 보고서 (환경분야). 북제주군. 236p.

오종우, 1993. 지역개발에 수반되는 동굴지역의 지형조사. 동굴 35(36). 32-36.

오종우 외 3인, 1993. 북한지역의 지형연구. 한국과학기술단체 총연합회. 107p.

오종우 외 1인, 1994. 북한의 카르스트지형과 동굴분포와 상관성. 동굴 36(37). 13-32.

오종우, 1994. 북한의 화산지형 소고. 동굴 36(37). 33-37.

오종우 외 1인, 1994 태백시 용연동굴 지대의 지리환경. 동굴 36(37). 81-102.

오종우, 1994. Soils and landforms on the loess mantled karst uplands in southwestern Wisconsin. 동굴 36(37). 103-113.

오종우, Day J. Sep. 22, 1989. Sinkhole Sediment Properties in southwestern Wisconsin Karst. **Association of American Geographers (West Lake Division) and The Wisconsin Geographical Society Joint Meeting**. La Cross, Wisconsin.

오종우. Sep. 22, 1989. Commercial Caves in Southwestern Wisconsin. **Association of American Geographers (West Lake Division) and The Wisconsin Geographical Society Joint Meeting**. La Cross, Wisconsin.

오종우. Feb. 14, 1990. Commercial Caves as Resources: Examples from southwestern Wisconsin. **A Brown Bag Lecture in Geography**, University of Wisconsin-Milwaukee.

오종우. Mar. 31, 1990. Soil Development in Loess of Southwestern Wisconsin. **UWM Sigma Xi Club Annual Presentation**, Sigma Xi Association. Milwaukee, Wisconsin.

오종우, Day J. Apr. 6, 1990. Karst Sediments in Southwestern Wisconsin. **The 11th Friends of Karst Meeting**. Decorah, Iowa.

오종우, Day J. Apr. 22, 1990. Sinkhole Sediments and Soils in the Southwestern Wisconsin Karst. **Association of American Geographers Annual Conference**. Toronto, Canada.

오종우. June 27, 1990. Soil Development in Loess of the Southwestern Wisconsin Driftless Area. **1990년도 세계한민족과학기술자종합학술대회** -지구과학분과. 한국과학기술단체총연합회. 서울, 한국.

오종우, Day J. June 27, 1990. Sinkhole Sediment Sequences in the Southwestern Wisconsin Karst. **1990년도 세계한민족과학기술자 종합학술대회** -지구과학분과. 한국과학기술단체총연합회. 서울, 한국.

오종우, Day J. June 30, 1990. 위스콘신 남서부의 칼스트 토양과 퇴적물. **대한지리학회 춘계학술대회**. 대구, 한국.

오종우, Sep. 12, 1990. Alpine Karst in Korea. **A Brown Bag Lecture in Geography**, University of Wisconsin-Milwaukee.

오종우, Oct. 22, 1990. Alpine Karst in South Korea. **Wisconsin Geographical Society Annual Meeting**. Oshkosh, Wisconsin.

오종우. Feb. 6, 1991. Karst, Soil and Sediment of the Driftless Area in Southwestern Wisconsin. **A Brown Bag Lecture in Geography**, University of Wisconsin-Milwaukee.

오종우. Mar. 27, 1991. Potential Sources of the Sinkhole Sediments in the Southwestern Wisconsin Driftless Area. **UWM Sigma Xi Club Annual Presentation**, Sigma Xi Association. Milwaukee, Wisconsin.

오종우, Day J. Apr. 27, 1991. Geomorphic Characteristics and Sediment Environments of Dolines in the Southwestern Wisconsin Driftless Area Karst. **Illinois Geographical Society Annual Meeting**. Elmhurst, Illinois.

오종우. Apr. 12, 1992. Sinkhole Sediments of Southwestern Wisconsin. University of Wisconsin-Milwaukee Department of Geography Colloquium. Milwaukee, Wisconsin.

오종우. Apr. 5. 1993. 위스컨신 karst의 퇴적물 연구. 자연지리연구회 발표회.

오종우. May 22, 1993. 가매(Sinkhole) 퇴적물의 형성과정과 고환경 -Wisconsin Karst-. 대한지리학회 춘계학술대회. 청주, 한국.

오종우, Aug. 10, 1994. 위스컨신 Driftless 지역 카르스트의 가매(Sinkhole) 堆積物 (Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area Karst), 한국지형학회 하계학술대회. 상명여대.

유재신 (1977) 寧越 雙龍 淵堂里 일대의 karst 지형에 관한 연구, 건국대학교 논문집 6, 259-168

유재신 (1977) 영월 쌍룡리일대의 karst 지형에 관한 연구, 호천 박관섭교수 頌壽기념논총, 205-215

유재신 (1979) 고도별 sinkhole terrain의 비교연구, 건국대학교 석사논문

유재신 (1983) Karst 지형의 연구: sinkhole 을 중심으로, 한국동굴학회지 7(8), 11-18

유재신 (1985) 고도별 karst 지형의 비교연구, 매헌 홍시환박사회갑기념 논문419-441

이숙현 (1992) 여삼리 지역 karst 지형형태와 피복물에 관한 연구, 세종대학교 석사논문

이진화 (1978) 정선군 임계면 직원리.하수리 지역의 Karst지형에 관한 연구, 녹우회보 20

이태형 (1988) 문경 karst 지역의 용식에 관한 연구, 지리학논총 15, 157-163

임종호 (1989) 단양 석회암 잔덕토의 지화학적 분석, 장안지리 4(5), 32-48

임종호 (1990) 여천리 석회암지역 피복물의 상인과 특성에 관한 분석, 지리학연구16, 75-90

원종관 (1978) Sinkhole 지형의 분포와 karst 현상, 건국대학교 이학 논문집 4

장은미 (1988) 석회암과 고회암지역의 지표피복물에 관한 연구, 서운대학교 석사논문

전용목 (1979) 여삼 karst 의 특성 과 발달, 건국대학교 논문집 10

정미숙, 1980, 삼척지역의 Karst Terrace에 관한 연구 논문집 12집

정석재 김대순 문준 엄기태 (1989) 석회암 토양의 지형적 특성과 생성분류 1. 지형에 따른 석회암토양의 이화학적 특성, 한국토양비료학회지 22(4), 265-270

정석재 (1990) 석회암 토양의 지형적 특성과 생성분류 2. 강원도 영월지역 석회암토양의 광물특상과 생성 및 분류, 한국토양비료학회지 23(1), 1-7

정미숙 (1980) 삼척지역의 karst terrain 에 관한 연구, 건국대학교 석사논문

정장호 (1962) 남한의 karst 지형에 관한 연구(大和, 梅浦), 서울대학교 석사학위논문

정장호 (1962) 영월부근의 지형, 지리 2

정장호 (1966) 한국의 karst 지형, 지산선생 회갑기념 논문집

정장호 (1971) Karst 지형, 원색과학대백과사전, 2 지구

조대현(1992) 단양지역 karst 현상의 토양지형학적 특성, 충북대 석사 논문 106p

최무용 임종호 (1990) 여천리 석회암지역 피복물의 성인과 특성에 관한 분석, 지리학연구 16, 75-90

최무용 임종호 (1991) 석회암의 풍화과정과 특성, 건국대학교 이학 논문집 16

Ueno, S., S.K. Pae & F. Nagao (1966) Results of the Spelological Survey in south Korea 1966. I. General account, with brief descriptions of the caves visited, Bull. Nat. Sce. Mus. Tokyo, 9(4), 1966