

# 종유굴의 형성과정에 관한 지형학적 연구

홍 시 환\*

## A Geomorphoecic Study on the Formation Process of Limestone Cave

Shi Hwan Hong\*

### I. 서론

종유굴이 생성되어 어떠한 경로로 발달하며 다시 쇠퇴하여 붕괴되고 마는가에 대한 우리들의 관심은 크다. 더구나 어떤 지역에 카르스트 지형이 발달하며 동굴의 발달원인을 구명한다는 것은 매우 중요한 일이다.

이제 필자는 종유굴의 유형과 특성, 동굴의 성인, 그밖에 동굴의 이용과 자연보전에 관한 제논문에 뒤이어 이번에는 이들 종유굴들이 형성·발달되어 가는 윤회과정을 분석코자 한다.

### II. 석회암층과 카르스트지형

#### 1. 석회암층의 분포

석회암의 지질시대에 관하여 말하자면 세계의 석회암의 대부분은 고생대의 것이고, 그것의 거의 대부분은 이첩기 석회암에 배태하고 있다고 할 수 있다. 그러므로 종유굴의 대부분은 고생대 말기의 이첩기 석회암에 배태하고 있다고 할 수 있는 것이다. 그러나 후기 석회기의 석회암이나 중생기의 쥬라기 내지 백악기의 석회암에 종유굴이 생겨 있을 경우도 있으므로 그때마다 지질도를 참조하지 않으면 안 된다. 게다가

대리석 층에 동굴이 생기는 경우도 있어 이럴 경우에는 지질시대를 확정하기란 매우 어렵다.

석회암의 화학적 성분을 비교해 보면 일반적으로 고생대의 석회암은 90% 이상이 탄산칼슘인데 대하여 중생대의 석회암에는 불순물이 많이 포함되어 있고 탄산칼슘의 함유량은 매우 적어진다. 채석장에 있는 석회암의 대부분은 이첩기의 것인 것도 그 증거일 것이다. 탄산칼슘의 함유량의 차이가 동굴의 발달이나 생성물의 발육에 어떤 결과를 가져오는가를 조사해 보는 것도 흥미 있는 일이다.

#### 2. 카르스트지형의 발달

석회암이 많은 지역을 석회암지대라고 부르고 있는데 석회암이기 때문에 다른 암상의 곳과는 다른 점이 몇 가지 있다. 우수에 용해되기 쉽기 때문에 여기에는 종유굴이 생기든지 카르스트지형이라고 불리우는 특이한 지표형태를 나타내기도 하여 동시에 그 잔류물은 적색토를 만든다. 이러한 기반위에서 석회암에 특유한 식물 군락이 생기기도 하며 동굴도 생긴다.

한편 인간생활면에서 생각해 보면 석회암의 분포지역의 위는 항상 물기근에 봉착하게 되어 자연경작물의 성장에도 좌우된다.

\* 전 동굴학회장, 전 건국대 지리과 교수 겸 이과대학장

석회암대지에 사는 사람들에게 물이 부족하여 생활에 심각한 문제가 되고 있다. 그 반면 대지의 아래에는 동굴에서 차가운 물이 다량으로 흘러나오는 경우가 있어 그 곳에서는 때때로 양어장이 경영되기도 한다.

일반적으로 카르스트지형이 성립되는 조건으로는, (1) 지질이 석회암일 것, (2) 석회암층이 침식기준면보다 고위에 있을 것, (3) 상당한 면적에 걸쳐 석회암이 노출되어 있을 것, (4) 용식작용을 촉진시킬 수 있는 기후일 것 등을 들 수 있다.

### 3. 우리나라의 카르스트지형

우리나라에서도 카르스트지형의 연구가 크게 진행되고 있다. 그리고 석회암의 분포는 굴의 발달과 밀접한 관계가 있으므로 특유한 지형요소에 관하여 간단히 설명한다.

카렌은 석회암대지에서 지표로 돌출한 석회암이 용식을 계속하여 받아들인 결과 견치상 또는 묘석상을 나타나게 되었기 때문에 그렇게 불리우나 라피에라고 한다. 카렌의 표면에는 폭 2cm~10cm쯤의 평행하는 용식구가 조각되어 있다. 카렌은 피상석회암에 나타나고 보통은 각추상이지만 특히 결정질이 석회암의 경우는 원정형의 용식구가 적은 카렌이 발달한다. 한번 유수가 요지로 흐르기 시작하면 그 곳은 더욱 용식작용을 받아 우물상의 라피에를 생기게 한다. 라피에는 틈바구니의 영향이나 석회암의 층리의 영향을 받아 그 연장방향은 틈바구니나 층리의 방향과 일치하는 경우가 많다. 라피에가 발달한 석회암대지를 카렌필드라고 부른다. 또 종유굴 속에 생긴 라피에를 굴 속 라피에라고 한다.

돌리네는 카르스트지형을 특징짓는 미지형이고 석회암대지 위에 생긴 요지형이다. 돌리네의 형태는 그 성인에 의하여 몇 가지의 타입이 있

는데, 일반적으로 명형돌리네와 누두형돌리네로 나누어진다. 돌리네의 밑에는 표면류가 흘러들어 가는 이른바 포노올이 있는데 밖에서 보는 것과 피복토로 인해 개구부를 볼 수 없는 것이 있다. 그리고 때때로 돌리네의 밑이나 포노올로부터 수직굴 또는 경사굴인 종유굴로 통한다. 대체로 돌리네의 배열은 지질구조를 반영하고 있는 경우가 많다.

석회암대지의 침식이 진전하면 몇 개의 돌리네가 합체하여 구상의 요지형이나 분지를 이룩한다. 우발레와 폴리에라고 불리우는 지형이다. 폴리에에는 카르스트성의 구조분지이고 침식지형이 어느 정도 발달된 곳이 아니면 볼 수 없다. 우리나라 강원도의 곳곳에서도 커다란 석회암대지 몇 곳에 한정되어 있다. 우발레나 폴리에의 밑에도 포노올이 있어 유수가 지하로 숨어버리지만 때로는 포노올이 표토에 의해 매몰되어 있던지, 수량이 포노올의 유수량을 넘을 경우에는 그러한 요지 밑에 일시적으로 물이 고이는 경우도 있다. 이러한 경우에는 논으로 경작되고 그 주변에는 단구상의 지형이 생긴다.

## Ⅲ. 카르스트지형과 종유굴

### 1. 석회암층과 석회동굴

앞에서 석회암의 지형에 관하여 이야기했는데 우리나라 강원도 곳곳에 분포되어 있고 석회동굴도 또한 전국적으로 분포되어 있다. 현재 우리나라에는 석회동굴만도 약 1000에 달할 것으로 예측되고 있다. 물론 그것들은 사람이 들어 갈 수 있는 굴을 대상으로 한 것이므로 새로운 동굴의 발견과 함께 그 수도 늘어갈 것이다.

규모를 보면 일반적으로 커다란 석회동굴은 커다란 석회암지대에 배태하고 있는 것이다.

그와 반대로 석회암 덩어리가 작으면 그 크기

에 따르는 규모의 석회동굴밖에 생기지 않는다. 그러나 석회암층의 층리와 동굴의 뻗는 방향과의 관계에도 따른다. 즉 암체는 작지만 경사가 수직에 가깝고 또한 지하수면이 같을 경우에는 30m가 넘는 수직굴을 형성하는 경우도 있다. 석회암층이 수평에 가까운 작은 규모의 경우는 수십m 정도의 평면굴밖에 이루지 못하는 것이다.

우리나라에서 결정된 기준은 없으나 동굴은 그 규모에 따라 다음과 같이 구분된다. 즉 평면굴인 경우 총연장이 100m미만을 소, 100~1000m를 중, 1000m이상을 대굴로 한다. 그리고 수직굴의 경우는 하강 또는 등반의 어려움의 정도에도 따르지만 10m미만이 소, 10~50m가 중, 50m 이상을 대로 보아도 괜찮을 것이다. 이러한 크기에 관해서는 사람의 통행이 가능한 굴만을 대상으로 한 것은 두말할 것도 없다.

우리나라의 석회동굴로 최대의 것은 강원도 초당굴이고 현재 알려진 바로는 총연장 6km다. 그런데 세계 최대의 헬록호케이브나 맘모스케이브의 80km여와는 비교도 안 될 정도다. 초당굴은 동양 순위로 말하자면 현재로는 제일간다고 할 수 있다.

수직굴의 경우 세계에서 가장 깊은 것은 프랑스의 구르노블 가까운 벨자굴인데 굴속에서 6박하고 1130m까지 하강한 기록이 있다. 이러한 수직굴은 굴뚝 모양으로 1000m나 벌려 있을 리는 없는 것이고 50~100m마다 크거나 작은 발붙일 수 있는 테라스나 때로는 평면굴의 발판이 있고 차례차례로 하강되어 있는 것이다. 일본에서도 동굴연구클럽이 응석회굴을 130m 하강하면서 굴속에서 3박했다고 한다. 1978년 8월 우리나라 영월에서 건국대학 탐험대팀에 의해 발견된 능암덕굴은 수직181m의 동굴인데 30명의 탐험대가 2박하면서 조사하였다.

이와 같이 석회동굴의 규모는 대소 여러 가지

가 있는데 석회암체 중에서의 분포를 볼 것 같으면 결코 한결같지는 않다. 석회동굴은 암체의 주변부위에서 동굴이 발견되기 쉬운 부분과 그렇지 않은 부분을 볼 수가 있다.

석회동굴의 분포가 편재하여 한 곳에 집중되어 있는 현상을 동굴지대라고 한다. 이러한 것은 대부분의 석회암지대에서 볼 수 있는 현상이다. 지금까지의 조사로써는 동굴지대의 위치는 단층이다. 절리의 발달이 집중되어 있는 장소에 해당하는 것으로 보여진다. 이 점에 관해서는 물리조사의 자료나 수계의 발달을 고려하면서 차후 검토를 더해야 한다.

그리고 석회동굴의 명칭에 대하여 부언코자 한다. 외국의 예로 보면 케이브와 케이브 시스템이란 말이 나온다. 전자는 사람이 통행할 수 있는 보통의 공동부를 말하는 것으로 상식적인 의미에서의 종유굴이란 것이다. 이에 대하여 후자는 사람의 통행이 곤란한 부분까지도 합쳐 서로 연결되어 있는 공동굴 계통전체를 말하는 것이다. 이 점에서 우리나라의 용언은 엄밀을 기하지 못하고 있는데, 일련의 석회동굴의 발달을 논할 때는 종유굴계라든지 동굴계라고 하는 것이 적합할 것이다. 몇 개의 종유굴이 상호의 연관성이 없는 것끼리 여러 개가 묶여서 분포하고 있을 경우는 석회동굴지대라고 하면 될 것이다. 이것은 지칭의 차이뿐만 아니라 동굴의 발달계통 문제와도 관련되는 것이므로 기술하는데 있어서 유의해야 할 일이다.

## 2. 종유굴의 발달과정

동굴이 어떻게 이루어졌는가 하는 문제는 우리들 누구나가 관심을 가지는 일이다. 그 동굴이 석회동굴이건 용암동굴이건 또는 파식동굴이든 간에 이들은 각기 제 나름대로의 동굴형성의 과정을 밟고 있는 것이다.

그중 용암동굴은 화산의 분출과 관계있지만 다른 것들은 모두가 물의 용해작용과 관련되어 있다. 특히 석회동굴은 석회암층과 관련이 있는 것으로 이 석회동굴도 여러 형태로 분류된다. 즉 석회암층 자체가 수평인 종유굴에 있어서는 동굴의 통로가 수평이라는 것은 충분히 납득이 갈 것이다. 그리고 석회암층이 습곡되어 있다든지 급경사를 이루고 있는 것 같은 곳에서 조차 동굴의 통로는 수평인 것이다. 더욱이 거의 수평에 가까운 석회암 중에 있는 거대한 동굴계통에 관하여, 지난날의 연구자들은 가장 용해되기 쉬운 지층에 따라 통로가 생길뿐이다 라고 생각했는데, 최근의 연구에 의하면 그러한 경우에도 통로는 석회암의 층리와 근소하게 사교되어 있다는 것이 판명되게 되었다. 통로는 정확하게는 층리에 평행하는 것이 아니고 거의 수평한 면에 지배되고 있는 것이다.

이 증거에서 보면 현대의 많은 연구자들은 미국의 지질학자 W.B.데이비스와 같은 의견이다. 즉, 그는 거의 대부분의 종유굴은 지하수면 밑의 비교적 폭이 좁은 수평면속에 형성되었다라고 설명하고 있다.

우리들은 동굴의 통로가 지하수면 바로 밑에서 형성되었다는 이유를 다음의 두 가지 요인에 의한 것으로 생각하고 있다. (1) 이 부분의 이산화탄소의 함유량은 비교적 높다. (2) 지하수면보다 상방의 하강하는 물과는 달리 지하수면 하의 물은 탄산칼슘으로 충분히 포화할 때까지 오랫동안 석회암과 접촉해 있다.

토양대를 지나 온 이산화탄소를 지닌 물은, 급속히 하강하기 때문에 시간만 충분히 있으면 용해할 수 있는 석회암의 량에 대하여 극히 근소한 분량밖에 녹일 수 없는 것이다. 이 물이 지하수면하에 있어서 포화대 중의 지하수 본체로 쏟아질 때, 거기에서 아직 사용치 못한 탄산이

포함되어 있다. 물속에 있어서의 이산화탄소 과잉으로 인하여, 지하수면 위의 조그만 틈바구니에서는 이산화탄소의 함유량이 높고, 또한 한결 같다. 이산화탄소는 그러한 틈바구니에 침투하여 물의 상층부 속으로 확산한다. 그리하여 지하수면에서부터 깊은 곳의 물보다는 훨씬 커다란 용해 능력을 준다.

그러므로 주류의 통로는 지하수면 바로 밑의 근소한 수평부분에 형성되기 쉬운 것이다.

주류 통로가 크게 뒹에 따라 지하수면 밑의 거의 모든 물의 운동은 이 부분에서 일어난다.

용해하고 있는 탄산칼슘은 포화사 정면의 완만한 구배에 따라 때로는 수 마일까지도 골짜기 계류를 따라 유출구 쪽으로 운반되는 것이다.

이상과 같은 동굴 형성의 과정은 수천 년 동안이나 계속될지도 모른다. 그러나, 단 두 가지 사건만이 동굴 형성을 정지시킬 수가 있다. 즉, 지하수면의 저하와 지표침식에 의한 동굴입구의 형성이다. 지하수면의 저하는 동굴의 물을 배출한다. 이 사실은 용해작용이 정지되든지, 또는 그보다 낮은 레벨에서 저위의 동굴계열이 형성될 때까지 계속됨을 의미하는 것이다.

동굴의 개구는 언제나 동굴형성과정의 종말을 나타낸다. 동굴의 입이 열림으로서 환기가 행하여짐으로 이산화탄소의 높은 기압은 지하수면보다 위의 동굴에 있어서의 이미 유지될 수가 없는 것이다. 과잉된 이산화탄소가 방산되고 물은 급속히 방해석으로 포화 또는 과포화의 상태가 되어, 결국은 용해의 과정이 끝난다. 사실 이상의 변화는 언제나 역의 과정, 즉 종유석 그밖의 다른 특징적인 구성물을 형성하는 방해석 침적의 시작을 나타내는 것이다.

그러므로 동굴에 사람이 들어갈 수 있을 정도가 되면 관광객의 흥미를 끌만한 조각물, 즉 종유석과 석순 등으로 장식되게 된다. 그러나 그

것은 그 과정의 희미한 시작에 지나지 않는다. 왜냐하면 특히 아름다운 동굴에 있어서는 어디건 교묘한 장식이 수천 년에 걸쳐 형성되어 왔고 물이 지표에서 지중으로 침투해 들어가는 한 형성이 계속되어 가기 때문이다.

#### IV. 종유굴의 회춘작용

공동 즉, 광장의 발달은 천정의 낙반과, 양벽의 삭찰만이 아니라 밑바닥을 향해서도 일어난다. 그것은 하천의 하강작용과도 같은 것으로써, 항상 일정한 영력으로 작용하고 있는 것은 아니다. 굴바닥 또는 지하수면의 안정기에는 하방침식은 약하고 측방침식이 강하므로 측벽에 현저한 노치를 만든다. 이러한 시기를 사이에 끼고 하방침식이 다시 왕성해지면 굴바닥이 다시 굽혀져 일반적으로 회춘이라고 불리우는 현상이 일어난다. 이럴 때는 지하수계의 유로 변화, 수직굴 형성의 촉진 등을 수반하는데 유수가 있는 평면굴에 관해서 보면 노치의 불연속적인 발달과 유로의 변화가 생긴다.

굴속에 수류가 있는 통로가 곡류하고 있는 현상은 많은 종유굴에서 볼 수 있는 것인데, 그 굴곡점의 위치나 곡률은 레벨에 따라 약간씩 차이가 있는 것이 보통이다. 그것은 하방침식의 진전이나 회춘의 결과이다. 이 사실은 굴 바닥을 기준으로 하여 수m의 레벨마다 평균도를 그리면 판명되는데, 어떠한 동굴의 곡류일지라도 정도의 차이는 있어도 한결같이 있는 현상이다. 수로의 곡류는 시간과 함께 더욱 더 강조되는 것이므로 특별하게 이상한 것은 없지만 굴속에 있어서는 옛 수로가 현재의 굴 바닥보다도 위쪽에 있어서 보존된 점이 특징이다.

지하수계가 곡류하고 있는 부분은 왕왕 양벽의 폭이 좁고, 또 플로우스톤과 같은 것으로

이 덮여 있기 때문에, 잘 관찰할 수 없겠지만, 천정 가까이 올라가 보면 뜻밖에도 직선적으로 공동이 뻗혀 있을 경우가 있다. 즉 동굴 형성의 초기에는 구조지배에 의하여 직선적인 유로였던 것이 동굴의 확대와 하방침식의 진전에 따라 차차 곡류하고 그 각각의 곡률을 증대시켰다고 볼 수 있는 것이다. 이런 경우 직선상 유로로부터 곡선상 유로로의 전하는 구조지배의 복합·낙반으로 인한 수로의 방해 같은 우연적인 요소가 계기로 되어 있었을 것이다. 그밖에 동굴 안에서의 곡류현상을 볼 수 있는 것은 모양이 균질한 대리석이란 것에 기인한다고 하는 사람이 있지만, 꼭 그렇게 단정할 수는 없다.

지하수계의 회춘 및 곡류의 진행과 동반하여 굴속에서 유로의 쟁탈도 행하여지고 있다. 쟁탈된 먼저의 수로는 지굴의 형태로 남아 있을 경우가 많다. 옛 유로와 현 유로와의 비교는 제각기여서 0.5m정도의 것도 있는가 하면 3m가량인 경우도 있고 또는 10m를 넘을 때도 있다. 이것은 공동의 확대, 종유굴의 성장에 있어서 지하수유로의 변화가 부단히 행하여짐을 말한다.

동굴의 성장이 진전되면 시종적으로는 다층구조로 되는 경우가 많다. 즉 레벨을 달리하는 몇 개인가의 평면굴과 그것들 사이를 창살처럼 연결하는 수직굴과의 종합적인 구조를 나타낸다. 반대로 말한다면 현재 우리들이 보는 종유굴에는 이러한 형식의 것이 많다. 이와 같은 굴속에서 생성물이나 노치의 발달 그 밖의 굴속 여러 형태를 관찰하면 전체의 동굴을 통하여 결코 한결같지 않다는 것을 깨닫게 된다. 예를 들면 종유석이 많은 레벨과 거의 없다시피 하는 레벨, 유수가 있는 통로와 물이 없어 마른 통로 등의 차이가 있다. 이러한 현상을 레벨의 분화라고 한다.

## V. 종유굴의 발달원칙

종유굴의 위치와 높이는 동굴입구의 높이를 말한다. 수직굴인 경우는 위나 밑, 또는 중간의 개구부와 하상과의 비교이고, 평면굴인 경우에는 동굴입구와 하상과의 사이의 높이가 이에 해당한다. 평면굴이라해도 굴속이 기하학적인 평면은 아니지만, 여기서 말하는 동굴입구의 높이를 가지고 개략적인 레벨을 대표한다는 것은 허용될 것이다. 이제 종유굴의 형성과정을 관찰해 볼 때 종유굴의 발달이 전혀 무법칙하게 된 것이 아니라는 점이다.

그렇다면 각기 그 높이는 무엇을 의미하는 것일까 이에 표층지질의 조사에는 하안단구와 그 위의 지층을 추적하고 단면도를 그려야 한다. 여기 표시된 하안단구의 높이는 먼저 말한 평면굴의 각 레벨과 무서울 만큼 정확하게 일치한다는 점을 알게 된다. 평면굴형 종유굴이 발달하는 레벨은 하안단구와 같은 면이라는 것은 성인적으로 상호 관련이 있음을 말해 준다. 그리고 하안단구의 면이 확대된 시기는 하상면의 안정기이기도 하고, 나아가서는 지하수면의 안정기이기도 하므로 그 사이에 평면굴로서 공동이 확대될 만큼의 용식작용이 진행되었다고 생각할 수 있다. 그렇다면 수직굴의 발달은 어떻게 되는가, 수직굴의 부분은 단구면과 단구면과의 사이, 즉 단구에 해당되는 부분이다. 그런 곳에서부터 하천의 하각작용이 활발하여 지하수면 역시 시대의 진행과 더불어 밑으로 밑으로 이동하는 시기에 석회암 속에서는 수직굴을 만들 만큼의 용식이 일어났다고 추론할 수가 있다.

종유굴의 형성이 하안단구와 동질이종의 현상이라는 것이 판명되면, 이번에는 종유굴이 언제쯤 생긴 것인가를 추론할 수도 있다. 즉, 지반의 암석구조의 연대로 보아 판단이 가능하다.

이제 한가지 외국의 예를 든다면, 발트해의 굿트랜드섬에 있는 르메르데 동굴에 관하여 런데발은 종래의 설과는 달리, 후빙기의 형성이라고 지적하고 있다. 그는 지형 단면도를 그려, 동굴 레벨이 릿드리너기의 지형면도보다도 약간 낮게 위치하고 있다는 것, 즉 릿드리너기에 계속되는 시기에 형성되었다고 하는 것이다.

지금까지의 동굴의 연구에 있어서는 생물학자들은 다른 자연과학자들을 앞질러 암흑 속에 살고 있는 생물을 연구했다.

또 고고학자나 인류학자는 유적이거나 유물을 동굴의 퇴적물로부터 발굴해 왔다.

그러나 그러한 것을 사적 배경을 문제로 삼을 경우, 지질학을 무시할 수는 없게 된다. 예를 들면 생물학자가 생물종의 분포를 지시시대의 고환경과 관련시켜 논할 때 흔히 한 장의 고지리도를 인용한다. 그리고 여기에 기술되어 있는 수륙의 분포를 그대로 인정함으로써 지질시대의 특징이라든지, 시간적 경과를 간과해 버리는 것 같다. 또 유적이거나 유물의 발굴에 있어서는 하위의 것은 상위의 것보다 고기이다라는 층위학의 하나의 명제를 절대시하여 퇴적층 전체가 지닌 지질학적 의의가 상실되는 경향도 없지 않은 것이다. 예컨대 동굴의 레벨론으로 말하자면 퇴적층 전체의 신구 관계는 높은 레벨일수록 오래 된 것이다.

그러므로 낮은 레벨의 퇴적층에서 어떤 유적이 발견되었을 경우보다, 오랜 옛 유적을 찾아, 동일 퇴적층을 밑으로 밑으로 파 내려가는 모양이나 퇴적층 전체로서의 시대적인 한계를 찾아 볼 필요가 있을 것이다.

종유굴이라는 공동의 형성시기가 전향에서 말한 바와 같이 판명되면, 거기에 나타난 여러 가지 자연현상의 사적 해석이 지금까지와는 달라질 것이라고 생각된다. 인류학·고고학상의

유적에 관해서는 물론 동굴 생물에 관해서 말하면 기관의 변이나 퇴화에 소비된 시간적 배경이 상당히 한정될 것이다.

## VI. 중유굴의 붕괴와 쇠퇴

여기서 이상 논술했던 것을 일괄하여 중유굴의 일생에 관해 생각해 보자. 석회암이 지표에 노출되어 풍화작용을 받음으로써 지표형태로서 카르스트지형화가 진행되며, 한편 지하형태로서 동굴의 형성이 행하여진다. 지하의 동공은 처음에는 소량의 지하수의 통로에 지나지 않으나 이 단계에서 구조지배를 받는다. 그것이 성장하여 마침내 사람이 드나들 수 있는 크기를 이루게 되고, 더하여 석회암의 용해·붕괴로 인해 동공이 확대된다. 동시에 붕괴와 동굴 생성물의 침착은 국부적인 공간의 축소를 가져오는 결과가 된다. 여기까지가 말하자면 중유굴의 발전기이다.

거듭 말한 동굴의 발달에 볼 수 있는 레벨의 규칙성은 발전기의 형태를 크게 규제하는 것에 지나지 않는다.

우리들의 경험으로 말하면 성장기는 다소간에 지하수의 유출, 삼출이 있는 시기라고 바꾸어 말할 수도 있을 것이다. 지하수가 공동에서 없어지면 굴속은 고갈되어 극히 살풍경의 공동으로 남는다. 현상적으로는 사굴이라고 불리우는데, 그러나 일시적인 것일지도 모르고 또 소멸의 제1단계일지도 모른다.

이와 같은 중유굴의 일생의 최후, 즉 중유굴이 소멸하는 것은 모암의 풍화가 진전하여 지하에 공동을 남기지 않는 상태로 들어가는 것이다. 예를 들면 중유굴의 천정이 크게 뚫림으로써 암흑의 공동이 햇빛에 노출되는 상태가 된다. 천정이 아니고 측벽이 침식 삭박되는 경우도 있을 것이다. 여하튼 석회암지역의 침식이

진전함에 따라 지하의 동굴 즉, 중유굴의 주위 벽이 파괴되어 외계와 통하게 되고 중유굴이 소멸한다. 말하자면 자연붕괴이다.

이러한 경우 때때로 내추럴 브릿지, 즉 천연교를 형성한다. 그 과정을 모식적으로 나타내면 침식의 정도, 지리적 조건 등에 의하여 천연교의 발달양식에 개성이 나타난다.

중유굴의 소멸이라고까지는 할 수 없으나 폐쇄라는 현상은 흔히 일어난다. 예를 들면 지하수량의 확대로 말미암아 굴속의 공간이 막혀버리는 경우, 혹은 토사의 유입으로 굴속이 매겨지는 경우 등이다.

## VII. 결 론

요컨대 석회암지층에서 카르스트지형은 발달굴 즉, 석회동굴은 생성된다. 그리고 이들 중유굴하고 이들 카르스트지형의 발달된 지역에 중유굴들은 제각기 제 나름대로 그 윤회과정을 계속하고 있으며 지구가 계속 존재하는 한, 이 윤회과정은 계속된다.

결국 동굴은 쇠퇴하고 없어진다. 10만년이 될는지 20만년이 되어야하는지는 몰라도 동굴의 생성에는 장구한 시일이 요구된다. 이와 같이 형성된 동굴지형과 퇴적물들의 발달과정은 그 대개가 하나의 원칙으로 되어있다. 즉 수평동굴의 입구높이와 하안단구의 높이를 비교하여 추정할 수 있으며, 한편 수직굴인 경우에는 단구면과 단구면의 사이에 형성되는 것으로 판단된다. 그리고 그 기반의 암석구조의 연대를 보아도 추정된다.

실로 동굴은 지표에서 우수가 투수되고 그리고 그 지반이 석회암구조층을 이루고 있는 한 계속 형성되며 그 지형의 윤회는 계속될 것이다.