

# 石灰洞窟의 성인에 관한 학설연구

공주교육대학교수 나 도 승

## 1. 서 론

석회동굴(石灰洞窟)의 성인설에 관한 학설이론은 많이 나타나고 있다. 그러나 그 대부분이 획일적으로 동굴형성에 주인(主因)이 되고 있다고는 볼 수 없으며 대부분의 동굴들이 몇가지 이론에 적용을 받고있는 혼합적인 성인(成因)을 지니고 있는 경우가 많다.

이제 최근에 거론되고 있는 석회동굴 생성에 관한 학설을 소개하면 다음과 같다.

## 2. 순환수대설(循環水帶說)

매트슨(G.C Matson: 1909)은 지표수(地表水)가 먼저 존재한 통로로 침입해서 지하수면에 도달할 때까지의 순환수대에서 동굴이 형성되고 확대되어 간다고 했다. 그는 지하수면 부근 및 지하수면아래의 용식(溶蝕) 가능성도 부정하지 않지만 순환수대에서는 지하수의 유속(流速)이 빠르고 용식작용과 함께 기계적인 침식(侵蝕)작용도 보다 크게 일어난다는 것을 중시했다.

마로트(C.A.MALOTT: 1952)에 의하면 미국 인디애나주에 있는 Lost Liver는 곡(谷)을 깊게 하각(下刻)하고 있는 하류역, 복류해서 건조한 강바닥이 계속되는 중류역, 하각(下刻)이 계속되지 않아서 지표류(地表流)를 볼 수 있는 상류역 이렇게 3가지 지역으로 나누고 있다. 지표유는 표고 620 피트 정도에 있는 Dry Weather

Sink를 포함해 5개의 흡입구멍에 의해 지하유로로 복류(伏流)하고 한편 지표에서는 490피트 수준에 있는 용천 Lost River Rise 까지 22.5마일 사행한 하상(河床)이 계속되어 있다. 약 25년간의 연구에서 멜로트(Mallott:1938, 1952)는 중류역에서 동굴형성은 이미 지하에 완성되어 있는 큰 지하유로(流路)를 지표수가 이용하고 있다고 하기 보다 오히려 지표수가 바뀐 지하수류에 의해 지하수로는 확대되고 발달한다고 생각했다. 그러면서 그는 또 지하수면하에서 용식의 가능성을 부정하지 않고, 초기에 지표수가 지하수로 복류하기 때문에 작지만 어느정도 발달한 통로가 있다. 마로트의 이 설은 일반적으로 침식설(侵蝕說)이라고 불리운다.

이 지방에서는 층을 이룬 석회암층이 완경사(緩傾斜)의 지질구조를 이루고 있지만, 지층중에는 다공질(多孔質) 석회암이랑 고회암(苦灰岩)이 끼워져 있고 또 지층동사(地層同土)의 접촉면에는 다소 간극(間隙)이 있는 곳도 볼 수 있다. 이들 투수층을 따라 대상(台上)의 노출부에 의해 지표수가 침투하고, 물로 채워진 정대수층(Static Water Zone)을 형성한다. 지역적 지반상승에 의해서 곡의 하각이 진행되어 정대수층(靜帶水層)에 이르면 정대수층은 곡측면에 배수구를 갖게 되고 대상에 의해 곡천(谷川)까지의 지하배수계가 생긴다. 그는 대지(台地) 위의 지표수가 지하로 침투해서 곡측면으로 배수될 때까지 순환수에 의한 용식·침식작용에 의해 동굴이 형성되고 확대된다고 생각했다. 더욱더 곡의 하각이 진행되면 더 아래쪽에 있는 정대수층에 이르고 지표수는 이 배수계를 흐르기 때문에 구배수계(舊排水系)는 공기로 채워지고 동굴속에는 2차생성물이 생긴다. 그는 켄터키주 맘모스동굴, 뉴멕시코주 Carlsbad Cavern은 그 좋은

이라고 했다. 가드너설은 일반적으로 정대수층설(靜帶水層說)이라고 불리우는데 지하수환경이라기 보다 오히려 동굴의 중요한 생성요인이 되는 지하수 환경이 만들어낸 것에 대해서 수리지질학적(水理地質學的)으로 논한 것이다.

### 3. 포화수대설(飽和水帶說)

이 설은 그룬드(Grund:1903), 데이비스(Davis:1930) 브레츠(Bretz:1942, 531) 등에 의해서 주장되어 온 것으로 동굴발달의 주된 과정은 지하수면 아래에 있는 포화수대심층에서 일어나고 공동(空洞)의 대부분이 여기서 용식확대 된다는 것이다. 그 후에 지하수면의 저하(低下)에 따라 동굴 내부의 지하수가 배수되어 공동화되고 석회생성물의 생성과 일부 순환수에 의한 용·침식작용을 받는다는 2 단계를 거쳐 형성된다는 것이다. 데이비스설은 2 윤회설(二輪廻說)이라고 불리운다. 데이비스는 그때까지 발표된 수많은 동굴의 평면도와 횡단면도등 자료를 연구해서 지표하천에서 볼 수 있는 선상(線狀) 및 분지상(分枝狀)유로 이외에 대부분의 동굴에서 망상구조(網狀構造)를 볼 수 있는 것, 순환수대에 있어서 지하하천의 용·침식작용으로는 동굴 내부에서 볼 수 있는 많은 맹동(盲洞)의 성인을 설명할 수 없는 것, 플로리다 쿠바해안에서는 큰 진수선(眞水線)이 용천하는 것 등에서 동굴은 우선 지하수면 아래, 포화수대의 심층에서 완전히 형성·확대된 후에 제 2 단계에서 지반의 상대적 상승결과, 동굴은 지하수면 위에 위치하고 석회생성물에 의한 동굴 내부의 장식(裝飾)과 붕괴 등이 일어난다고 결론 내렸다. 당시 80세를 넘는 데이비

스의 추론(推論)이 주로 다른 연구자의 자료를 근거로 책상위에서 되어진 것에 대해 야외에서 그 고찰을 행한 것은 브레츠이다. 그는 미조리주 Ozark 지방을 중심으로 15 개주 100 개 이상의 동굴을 조사하고 동굴 내부에서 볼 수 있는 수많은 용식형태 및 양식에 대해 자세한 설명을 하고 동굴의 기원(起源) 발달사적 관점에 의해 그것들을 지하수면 아래서 형성된 것과 지하수면 위의 순환수에 의해 형성된 것으로 분류했다. 그가 연구한 100 개이상의 동굴 대부분에서 이포화수대의 특징을 볼 수 있는 것, 그 중 약 반수가 순환수대의 특징을 갖는 것, 더욱 순환수대 특징만 볼 수 있는 동굴은 극히 드물기 때문에 그는 대부분의 동굴은 지하수면 아래에서 발달하고 그후 지반 상승(地盤上昇)에 의해 순환수대에 위치해서 석회생성물의 발달과 순환수의 용·침식이 일어난다는 데이비스와 같은 결론을 내렸다. 그는 또 동굴 내부에서 볼 수 있는 대량의 적색점토가 균질이고 자갈이나 석회생성물의 채설을 포함하지 않았기 때문에 동굴이 순환수대로 이전(移轉)하기 전에 정수적(靜水的)인 조건아래서 지표로부터 온 점토(粘土)가 침적한 것이라고 생각하고 포화수대심층에서 동굴이 형성되고 적색점토가 동굴 내부에 충만한 후에 동굴 내부에 공기가 채워진 제 2 단계로 옮겨 간다고 결론지었다. 이 적색점토층의 존재는 동시에 동굴이 지하수면하에서 용식 확대된 것을 증명하는 것이라고 그는 생각했다.

#### 4. 지하수면설(地下水面說)

스위나톤(A.C.Swinerton: 1929, 1932)은 지하수면 부근에 수량

이 가장 증대하기 때문에 순환수가 지하수면 부근에 도달한 후에 횡적인 이동이 동굴의 발달에 중요한 작용을 하고 있다고 생각했다. 그는 1929년에 발표한 논문 중에서 다음과 같이 서술하고 있다.

가장 간단한 경우는 강수(降水)는 많은 작은 모암(母岩)의 공극(空隙)을 적시고 지하수면까지 직접 투과한 후 지하수면 상부를 옆으로 이동해서 지표배수로에 쏟는다. 그다지 크지 않은 동굴은 이런 지하수류가 지표배수로에 합류할 때까지의 지하수면 위와 아래의 양 지역에서 형성될 것이다. 그렇다면 일련의 동굴계가 지하수가 실제로 활동·순환하는 구역보다도 아랫방향에 발달한다고는 생각할 수 없다. 지하수면은 지표하천의 레벨에 의존해 있고, 환언(換言)하면 그 지역 기준레벨에 의존해 있다.

스위팅(Sweeting:1950)은 영국 Ingleborough 지방에 석회동굴이 분포하는 고도가 해발 1200 ~ 1300 ft 900 ~ 1000 ft 그리고 800 ~ 900 ft 이 3수준에 집중되어 있고 이들 수준이 지표의 침식면, 즉 예전의 지하수면의 기준레벨과 일치하는 것을 지적했다. 그래서 그는 동굴이 지하수면 부근에서 형성된다는 설을 지지했다.

##### 5. 포화수대천층설(飽和水帶淺層說)

이설은 동굴의 발달이 지하수면 바로 아래, 포화수대천층에서 일어난다고 생각하는 것인데 그 구체적 심도(深度)에 대해서는 연구자 간에 상당한 차이가 있다.

데이비스는 미국 아팔라치아 지방의 습곡석회암층 속에 있는 동굴을 연구하고 이 지방의 석회동에 다음과 같은 특징이 있다고 했다.

- ① 동굴통로는 모암의 경사방향과 교차하거나 주향(走向)과 평행해서 일반적으로 모암의 구조와는 관계없는 느린 경사를 이루고 있다.
- ② 대부분 동굴은 복수(伏水)의 수준(水準)에 통로가 발달하고 그 지역 내에서 이 수준차는 일치한다.
- ③ 각 통로 수준의 고도차는 그 지역 하곡(河谷)의 하안단구(河岸段丘)간의 고도차와 흔히 일치한다.
- ④ 주요한 동굴은 큰 하곡을 따라 분포하고 꼭보다 떨어진 곳은 작은 동굴만 분포해 있다.
- ⑤ 꼭에서 멀어짐에 따라 동굴의 통로는 점차로 좁아지고 지동(支洞)이 분기(分岐)하기도 한다.

또 데이비스는 많은 동굴에서 브레즈가 말한 적색점토층과 다른 쇄설성사력층(碎屑性砂礫層)이 동굴내부에 있는 것, 120개의 석회동굴 중 통로의 횡단면이 타원형을 나타내는 것은 불과 1 레이고 나머지는 모두 장방형이나 계형(梯形)의 변형인 것을 지적했다. 지하수면 아래 심층이 피압된 상태에서 용식된 동굴은 일반적으로 타원형을 나타내는 것, 통로의 대부분은 모암의 구조와는 무관계하고 동굴 발달 수준은 지표의 단구(段丘)와 일치하는 것 각각의 발달수준 간에는 작은 동굴이랑 포켓이 불규칙하게만 존지하지 않는 것, 실내의 모델 실험에서는 지하수유속은 지하수면 바로 아래에서 가장 높은 것들로부터 그는 동굴의 발달·확대는 지하수면 하천층에 극히 한정된 장소에서만 일어난다고 결론짓고, 습곡석회암층 속의 동굴발달 과정에 대해서 다음과 같이 추론했다.

- ① 심층 (深層)에서 불규칙한 용식기 - 지하수면아래 심층에서 불규칙한 용식이 일어나고 미속하지만 용식관 (溶蝕管)이나 포켓이 형성된다.
- ② 동굴의 성숙 (成熟) · 완성기 - 장기간에 걸쳐서 지하수면이 일정한 고도로 안정되고 충분한 수량을 유지된 상태에서 그때까지의 미속한 용식관이 포화수대상층에서 공동화 (空洞化)되고 동굴계 (洞窟系)가 완성된다.
- ③ 쇄설성사력퇴적기 - 공동이 침수 (浸水)와 배수를 반복하는 과정에서 동굴내부에 쇄설성사력이 퇴적된다.
- ④ 지반상승 · 침식기 - 동굴이 지하수면에 대해서 상대적으로 상승해서 통기대 (通氣帶) 환경으로 옮겨 석회생성물이 동굴 내부를 장식하고 또 쇄설성 퇴적물이 침식되고 동굴일부가 붕괴되기도 한다.

화이트는 같은 애팔래치아산맥 중에 약 25 개의 석회동굴을 조사·연구해서 대부분의 동굴이 수평으로 발달하고, 층이 수평에 가까운 석회암속의 동굴로는 네트워크 패턴 (Network Pattern)이 광범위하게 발달하고 있는데 경사진 지층 속에는 극히 한정된 수준에만 공동이 있고 경사면을 따라 윗쪽으로도 아랫쪽으로도 거의 동굴은 발달하지 않았기 때문에 동굴은 데이비스와 브레츠가 말한 포화수대심층에서는 아니고 지하수면하 50 ~ 60 ft 의 낮은 포화수대천층에 있는 유수에 의해 형성되었다고 했다.