

韓國의 洞窟과 그 二次生成物에 關한 研究

A Study on Caverns and the Speleothems in Korea

I. 序論

20世紀 科學文明은 地球表面에 人跡未踏의 地域을 거의 없게 하였다. 그러나 아직도 뜻있는 探險 對象으로서 우리들의 興味와 學究熱을 刺戟하는 空間이 남아 있으니 그것이 바로 海底와 地下에 秘藏된 洞窟인 것이다.

원래 이와 같은 洞窟은 地下의 暗黑 속에서 永劫의 時間과 空間의 흐름에 따라 自然의 힘으로 營造된 것이며 空間의 일부분으로 取扱되어 Karst 地形學에 의해 研究 開發되었으나 최근에는 Speleology란 獨立된 學問分野로서 體系化하여 보려는 움직임이 強力하게 擡頭되어 地形學, 地質學, 微氣候學, 生物學, 抗生醫藥, 宇宙科學實驗, 軍事戰略 등 諸分野에서 활발한 움직임을 보여주고 있다.

이와 같은 현실 속에서 오늘날 洞窟을 研究하고 있는 내의 실정을 살펴보면 Karst 地形研究의 Mecca로서의 Yugoslavia의 洞窟研究는 Slovenija 共和國의 Postojna 洞窟에 있는 Karst 研究所가 代表의이며 東西 洞窟學者들의 探訪과 國際的 學術交流가 間斷없이 이루어지고 있다.

한편 韓國에 있어서의 洞窟研究는 1962년 5월 “南韓의 Karst 地形”이란 論題下에 提出된 서울大學校 大學院에서의 鄭璋鎬의 碩士學位請求論文이 한국에서는 最初로 原州의 金垆石灰洞과 蔚珍의 聖留石灰洞을 Karst 地形學의으로 研究하였고 뒤를 이어 1966년 10월 只山 崔福鉉先生의 華甲紀念論文集에 필자와 鄭璋鎬教授의

“韓國의 Karst 地形”이란 동일한 題下의 論文二編이 실려 洞窟에 대한 많은 問題들을 다루었고, 거의 같은 時期에 韓國洞窟學會가 創立되어 많은 洞窟들이 世上에 알려졌다. 1973년 7월에는 韓國洞窟學會의 創立을 보기에 이르렀으나 아직까지도 學問으로서의 確固한 位置를 定立하지 못하고 있는 실정이다.

II. 洞窟의 類型別 生成理論과 그 地理學的 特性

우리들이 사는 地球表面에는 三大類型의 洞窟이 있는데 그 첫째는 海波의 끊임없는 攻擊에 의한 波蝕洞窟과 둘째는 火山作用으로 인한 熔岩의 裂罅噴出에 따른 斜面의 溢流로 생긴 熔岩隧道가 있고 셋째는 石灰岩의 溶蝕作用으로 생긴 石灰岩洞窟이 있다. 이 中에서도 石灰岩洞窟은 石灰岩의 溶蝕에 따른 二次生成物을 堆積하여 더욱 아름다운 景觀을 造成하며 觀光資源으로서 脚光을 받고 있다.

1. 波蝕洞窟(Sea cave)

大陸의 沿邊인 海岸에서 특히 石灰海岸이 發達한 곳에서는 흔히 波蝕洞窟을 볼 수 있는데 이와 같은 波蝕洞窟은 일반적으로 火山地帶의 凝灰岩海岸에서 顯著하다. 이와 같은 凝灰岩地域은 巖石의 強度가 낮을 뿐만 아니라 水平層의 發達이 좋은 곳에서는 容易하게 海波의 攻擊을 받아 波蝕洞窟을 形成하나 二次生成物은 없으며 그

길어도 짧아 他洞窟에 比較가 되지 않을뿐더러 觀光資源으로서의 活用例도 극히 드물다. 다만 巖石의 組織의 硬軟의 차이에 오는 選擇侵蝕의 結果로 優秀한 地形學的價値를 지닐 뿐이다.

이상과 같은 波蝕洞窟중에는 觀光資源으로 活用되는 特例가 있으니 그 첫째는 濟州道 北濟州郡所在 半島의 波蝕洞窟이며 晝間明月로 有名하다. 둘째는 日本 最大의 溫泉觀光地 伊勢半島의 堂島에 發達한 天窓洞으로 그 규모가 커서 觀光遊覽船이 回遊할 뿐만 아니라 洞窟 中心部가 Opening 되어 있어 天然의 照明을 받고 있는데서 天窓洞의 이름이 있다.

2. 熔岩隧道(Lava tunnel)

火山作用으로 생긴 단순하고도 狹長한 洞窟로서 일반적으로 熔岩의 裂罅噴出에 의한 鹽基性熔岩이 溢流하여 傾斜진 斜面을 흘러내릴 때 大氣에 접한 部分이 熱放散에 의한 冷却으로 固結되어 流動은 停止되나 內部物質은 未固結狀態로 繼續적으로 流動하며 斜面末端部가 重力의 破裂되어 內部的 未固結의 熔岩이 流出되어 地下에 熔岩隧道를 形成하였다.

이와 같은 成因을 가지는 熔岩隧道의 側壁에는 例外없이 內部物質의 流動에 의한 동일수준의 條線(Striation)을 洞窟壁面에 남기며 上端部에서는 熔岩의 Plastic deformation에 의한 Lava stalactites를 形成하며 간혹 洞床에 Lava stalagmites를 만드는 수도 있다.

이와 같은 火成起源의 熔岩洞窟에도 時間의 흐름에 따라 獨立된 生物相이 形成되고 박쥐가 棲息하며 먹이 連鎖作用이 일어나고 있음은 의심의 여지가 없다. 附隨적으로 Bat guano에서 由來된 水酸磷灰石(Hydroxy apatite)과 Taranakite를 堆積하는 수도 있으나, 餘他的 二次生成物은 거의 없다.

3. 石灰岩洞窟(Limestone cavern)

前述한 波蝕洞이나 熔岩隧道에 비해 多彩로운 景觀을 보여주는 洞窟로서, 일반적으로 石灰岩洞窟은 鐘乳洞으로 알려져 있다. 그러나 原來의 뜻은 石灰岩의 熔蝕作用에서 오는 洞窟이므로 石灰岩洞窟(Limestone Cavern)이라고 通用하기로 한다.

이와 같은 石灰岩洞窟은 石灰岩의 主成分인 $CaCO_3$ 가 炭酸 Gas를 溶存한 雨水와 化學的으로 反應하여 溶解되는데서 洞窟은 비롯된다.

天降水의 일부는 地表의 自然傾斜를 따라 流下하며 河川을 이루어 湖海로 流入되며 또다른 한편에선 大氣中으로 蒸發하여 天降水의 根源을 이루며 다른 一部分은 地下에 滲透하여 地下水의 根源을 이루는데 이 때에 土壤 속에서 有機物質의 分解로 생긴 酸과 植物의 뿌리에서 分泌하는 酸 등을 包含하여 石灰岩에 作用하여 신속히 溶蝕作用을 하는데 미국의 著名한 地形學者 Lobeck의 計算 예에 따르면 炭酸 calcium 1part를 溶解시키는데 75,000part의 물이 所要되므로 酸의 供給을 받은 地下水는 보통 純水보다도 30倍 以上の 弱酸性을 띠고 있으므로 石灰岩을 쉽게 溶解시킨다.

Lobeck의 計算은 Mammoth 洞窟地域의 1 acre에 내린 降雨量은 연간 25立方 feet의 石灰岩을 溶解시킨다는 計算 例를 보더라도 地下水는 洞窟擴大에 있어 커다란 役割을 遂行하고 있음을 알 수 있다. 따라서 洞窟의 基本은 地下水準面 以下の 飽和帶에서 이루어진다는 Shallow phreatic zone theory의 信憑度가 점차 높아져 가고 있다. 그러나 洞窟擴大의 主된 營力은 地下水準面上에서 強力한 洞窟流에 의한 機械的侵蝕과 化學的溶蝕의 結果라는 데는 의심의 여지가 없다.

특히 여기서 言及하고 싶은 것은 洞窟生成 年代 推定方法인데 우리나라의 洞窟을 胚胎하고

있는 母岩의 生成年代는 古生代(Palaeozoic era) 下部인 Cambrian과 Ordovician period에 海底에서 堆積된 石灰岩을 母體로 發達하나 때로는 時代 未詳(우리나라에서는 大缺層으로 一般化되어 있으나 一部學者들은 Silurian이나 Devonian이 아닌가 하는 疑問의 地層)의 永興里層이나 古城里層에 屬하는 境遇가 있으며, 이들 地層들은 洞窟 發達에 固有한 特徵을 나타내고 있다.

이밖에도 疑問의 地層으로서 蔚珍의 聖留窟과 같은 Pre-cambrian group으로 알려진 問題의 洞窟도 있으나 洞窟擴大의 主된 營力은 다음과 같은 因子의 制約을 받지 않을 수 없다. 즉 Limestone의 岩石學의 特徵과 洞窟을 內藏하고 있는 地域의 環境要因일 것이다. 더욱 具體적으로 말하여 石灰岩의 成分, 層厚, 地形, 海拔高度, 緯度, 降水量, 氣溫, 植被外 地質構造의 問題가 洞窟擴大의 主要因子로 擡頭되어야 할 것이나, 일부 洞窟學者들은 洞窟을 胚胎한 母巖의 生成年代와 洞窟 生成年代를 混沌하여 몇 億年前의 化石昆蟲 云云하여 生命의 起源과 進化의 理論까지 들먹거리고 있는 것을 볼 때 너무나 關聯 隣接 科學에 대한 無關心과 論據의 輕率함을 닦하지 않을 수 없다.

다만 이와 같은 洞窟年代의 推定은 前述한 諸因子를 基礎로 하여 推定하지 않으면 안될 것이다. 여기에서 主要因子로서 海面에서의 높이와 이에 隨伴된 Potential한 機械力에 의한 地形의 下刻的 進化가 얼마나 迅速히 이루어지는가에 따라 推定되어야 할 것이다.

다만 Shallow phreatic zone에서 洞窟의 原初的인 모습을 地下水準面 위로 들어내기까지의 물로 充滿되어 있던 空洞의 크기가 얼마나 되었느냐 하는 것이 考慮되어야 할 것이다. 이와 같은 理論은 現存 洞窟이 가지고 있는 地下水準面 以下에 發達한 洞窟內 沼池의 深淵의 깊이가 丹陽

郡 永春面 南窟(溫達窟)에 있어서는 一律적으로 5m이며 慶北 蔚珍郡 近南面 聖留窟에 있어서는 最大深度 15m를 나타내어 海面下 10m란 놀라운 結果를 볼 때 정상적인 地形의 進化보다도 Eustatic movement나 地盤의 急激한 昇降運動에 따른 空洞의 浮上問題를 考慮할 때 看過될 수 없는 因子라고는 생각되나 正常的인 地形進化를 통하여 洞窟年代를 推定함에 있어서는 地下水準面으로 洞窟의 모습을 드러낸 우리들의 探險可能空間을 基準으로 하지 않을 수 없다.

前述한 potential한 機械力에 의한 下刻的侵蝕(deepening)의 速度(洞窟이 立地한 附近河川의 平均 河水面의 年變化)를 年 1mm로 推定, 地形이 下刻되었다고 假定할 때 洞窟의 開口部와 現存 河川의 平均河水面과의 相對的 높이에 따라 推計되어야 할 것이다. 예컨대 30m의 比高가 있다면 前述한 下刻的侵蝕速度를 基準으로 計算하면 30,000年前에는 現存洞窟 開口部가 地下水準面 以下에 있었다고 볼 수 있으며, 洞窟內부의 垂直的 肢節이 顯著하게 平均通路에서 50m의 比高를 洞窟內에서 가지고 있다고 假定할 때 50,000年을 前記 30,000年에 加算하여 約 80,000年이란 計算이 나오나 洪積世의 氷期와 關聯된 海面의 昇降運動에 따른 氣候變化를 考慮할 때 洞窟의 年齡은 약 100,000年 內外로 推定함이 妥當하다고 본다. 다만 여기에서 問題視되는 것은 洞窟堆積物의 推定 平均 成長速度와 그 數值가 거의 接近한다면 더욱 바람직할 것이다.

4. 僞鍾乳洞(二次元의 洞窟)

Pseudo Karst에 대해서는 1969年 筆者가 처음으로 濟州道 翰林面 狹才里에 發達한 石鍾乳窟에 대하여 大韓地理學會에서의 發表를 통하여 몇 가지 見解를 披歷한 바 있으며 1976年 2月에는 日本의 Karst 地形 綜合研究機關인 秋吉台科

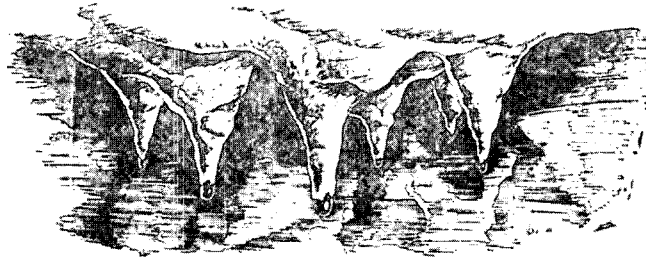


Figure 1. Standard patterns of stalactites ; They are the most universal speleothems and grow from the ceiling to the floor

學博物館에서 濟州道の 熔岩隧道에 發達한 二次元的 偽鍾乳洞이란 論題로 發表함으로써 世界的인 奇妙한 洞窟現象에 대하여 注意를 불러 일으킨 바 있다.

즉 二次元的 偽鍾乳洞이란 一次的으로는 火山活動으로 인한 lava tunnel을 母洞으로 하여 二次的으로는 海岸에서 破碎된 貝殼起源의 shelly sand가 sand dune을 形性하여 內陸 깊숙이 移動하여 lava tunnel 上에 2~3m의 두께로 被覆됨으로서 비롯된다. 이로 인하여 shelly sand의 炭酸 calcium이 弱酸性을 띤 雨水에 溶脫되어 basalt의 joint나 crack을 따라 lava tunnel 內에 滲透되어 鍾乳石의 基本型인 soda straw, stalactites, stalagmites와 같은 點滴石(drip stone)과 bacon like sheet와 같은 flowstone을 lava tunnel 內에 堆積시켜 洞壁을 lamination 하여 一見 石炭岩地帶에 發達한 limestone cavern을 彷彿케 하는데서 由來되며 筆者에 의해서 偽鍾乳洞으로 命名되었다.

이와 같은 貝殼砂의 石灰分에 의한 熔岩洞窟 內의 二次生成物(speleothem)은 石灰巖洞窟에 있어서의 二次生成物과 本質의 同一한 것이나 그 生成過程에서 lava tunnel을 母洞으로 次元을 달리하고 있는데서 二次元的 洞窟이란 別稱을 賦與하였다. 이와 같은 예는 아직까지도 世界的 洞窟史上 發表된 先例가 없으며 우리들만이 갖고 있는 貴重하고도 學術的 研究價値가 높은 洞窟은 原形 그대로 잘 保存하여야 할 것이다.

Ⅲ. 石灰岩洞窟의 二次生成物과 그 微地形學的 考察

石灰岩의 二次生成物에는 基本型인 鍾乳石 (Stalactites), 石筍(Stalagmites), 石柱(Columns) 等 點滴石(dripstone)에 속하는 것과, Curtain, Travertine fall 및 壁面을 Lamination한 것 等 流石(Flowstone)에 屬하는 것과, 이들 變型인 bacon like sheet와 Succession of disk 등이 있고 以外에도 微細하고도 纖細한 堆積物인 Helictites, Anthotites, Gypsum flower, Pisolite, botryoid와 河床堆積物인 Travertine Terrace 등이 우리들의 관심을 불러 일으키고 있다. 이들 堆積物을 細分하면 약 300個의 學名을 附與할 수 있는데 韓國에서는 아직까지도 研究家의 不足, 研究施設과 探險裝備가 完備하지 못하여 제자리 걸음을 하고 있는 實情이다.

1. 點滴石(dripstone)

石灰岩洞窟堆積物의 基本型으로 天井에서 落下하는 點滴水에 溶解되어 있던 重炭酸 calcium은 二酸化炭素分壓의 增加, 水溫의 低下 내지 물의 蒸發에 의해 炭酸 Calcium을 沈積한다. 이와 같은 堆積物이 洞床에서 上向의 成長하는 것을 Stalagmites라 부르며(Fig.2) 그 組織이 緻密하며 洞窟堆積物中 第一 무거운 部類에 속한다.



Figure 2. Stalagmites that grow symmetrically to stalactites : They grow from the floor to the ceiling

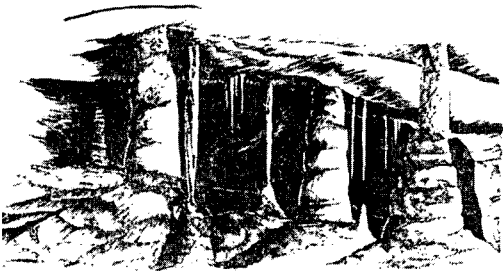


Figure 3. Columns made of connections between stalactites and stalagmites : They are the most universal speleothems in caverns

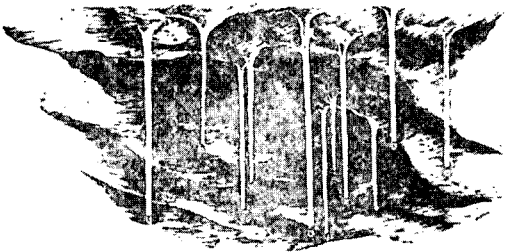


Figure 4. Soda-straws which are basic patterns of stalactites. In France they are called macaronis.



Figure 5. A huge column made of a connection between a stalactite and a stalagmite.

한편 天井에서 下向的으로 成長하는 堆積物은 Stalactites라고 하며(Fig. 1) 鍾乳石의 基本型인 管狀鍾乳石(Fig. 4) (soda straw or macaroni)으로부터 出發한다. 鍾乳石의 特徵으로서 pipe로 된 中央通路를 갖고 있는 점에서 石筍과는 判異하게 區別되며(Fig. 6) 重量도 石筍보다 가벼운 것이 普通이다. 이와 같은 石筍과 鍾乳石이 連結되어 하나의 石柱(Calumnns)를 만들며

(Fig. 5) 地下水의 滲出이 많은 곳에서는 石筍의 變型으로서 累重石筍(Succesion of disk)을 만드는 수도 있다.

以上과 같은 鍾乳石의 科學的研究는 1874년 英國 Yorkshire州에 있는 Ingreborough cave에서 Boyd Dawkins가 始作하였고 1923년에는 美國의 Allison의 研究로 New York 科學 Academy 賞을 받았고 그 후 1953년의 British Caving과 1964년



Figure 6. Cross-sections of stalactites ; they have tubes at their centers. (The scale is 1/8)

의 Speleology : The Study of Caves에서 本格的인 研究가 이루어졌으나 韓國에서는 別로 研究된 바 없다.

V.C. Allison은 石筍成長에 影響을 주는 要因으로 點滴水의 落下速度 : D, 通風 : A, 相對濕度 : H, 溫度 : T, 水滴의 濃度 : C를 들고 이들 要因은 각각 그 上限과 下限이 있으며 이들을 結合하여 石筍을 여러 가지 類型으로 分類하였다.

Allison은 石筍의 成長에 대해 그 굵기가 增大하는 條件과 上向의 成長하는 條件은 각각 다음 公式에 正比例한다고 하였다.

$$\text{즉, } \left(\frac{D \times H}{A \times T}\right)^{\frac{1}{2}}, \frac{A \times T \times C \times (12 + \log D)}{H}$$

여기서 石筍의 굵기는 點滴의 頻度가 크며 濕도가 높을 때에 增加하며 洞窟內의 通風이 좋고 溫度가 높을 때에 減少한다는 事實을, 그리고 1/2인 冪數는 石筍表面積이 直徑의 自乘에 比例한다는 것을 나타내고 있다.

또 石筍의 上向의 成長은 通風이 좋으며 溫度가 높고 同時에 水滴의 濃度も 높으며 點滴의 頻도가 클 때에 增加하며 濕도가 높을 때에는 減少한다는 것을 나타내고 있다. 그래서 Allison은 點滴의 頻度 : 1 秒間에 1滴, 通風 : 1秒間에 2feet, 相對濕度 : 50%, 溫度 : 68°F, 水滴의 濃度



Figure 7. Cross-sections of stalagmites ; they have stratiform structure. (The scale is 1/8)

: 50%를 각각 石筍의 大小와 高低의 基準으로 삼았다. 現在 成長하고 있는 石筍에 대해서 點滴의 數, 洞窟內의 風速, 濕度, 溫度, 水滴의 濃度を 測定하여 Allison이 作成한 46個의 類型에 比較하면 32分類中의 어느 것에나 該當되므로 石筍의 成長速度에 대한 推定이 可能하게 되어 있다.

특히 Allison은 이 32種의 石筍型에 대한 個個 石筍의 成長率과 石筍 둘레의 增大值를 나타내었기 때문에 그것을 알면 그 測定한 石筍의 年齡을 計算할 수 있게 하였다.

한편 H.W. Franke(1965)는 CaCO₃의 沈積比率가 一定하다고 하면 이것이 石筍年齡을 測定하는 尺度가 될 수 있다고 하여 炭酸 calcium의 沈積에 對해서의 考察을 하였다.

Franke는 現在까지 問題視하여온 水滴으로부터의 炭酸 calcium 沈積要因 속에서 洞窟內의 濕度·通風에 對해서는 無視될 수 있는 境遇가 많다는 것을 指摘하고 濕度·壓力·空氣中의 二酸化炭素含量, 水滴의 濃度, 水滴供給量 등을 重要因子로 들고 있다. 그리하여 石筍 높이의 成長率을 (\dot{Z})와 石筍斷面積의 增加率 (Q)를 水滴의 供給量 (\dot{V}), 水滴中의 CO₂量 mols/litre(Ca), 주위의 空氣와 平衡狀態에 있는 水滴中의 CO₂量(Ce)로 나타내면 다음과 같이 된다고 하였다.

$$\dot{Z} = \frac{13.2D(Ca - Ce)}{0.053 + Ca^{\frac{2}{3}}}$$



Figure 8. A speleothem which flows down along the wall. The end part is delicate like a lace. It is called a flowstone.

$$Q = \frac{(0.053 + Ca^{\frac{2}{3}})(Ca^{\frac{1}{3}} - Ce^{\frac{1}{3}}) \dot{V}}{D(Ca - Ce)}$$

D : 水滴의 薄膜에서 CO₂가 없어지는 擴散定數.
 實際問題로서 水滴中の CO₂量을 平常時의 100倍로 하여(大氣中の CO₂ 分壓은 0.0003 氣壓 : 雨水의 飽和 CO₂量은 1.364×10⁵mol/litre) 3秒에 一滴이 落下한다고 하면 1年間에 1,000l의 供給量으로 되며 2.32mol, 232gram 즉 116cm³의 炭酸 calcium이 沈積하는 것으로 되어 위의 式은 다음과 같이 바뀌 쓸 수 있다.

$$Z = 2.74 \times 10^{-2} D, Q = 4.23 \times 10^3 D$$

여기서 D의 값은 實測하지 않으면 안되지만 가령 $D = 3 \times 10^{-7} \text{cm}^3/\text{sec}$ 의 값을 준다면 $Z = 1\text{mm}/\text{year}$, $Q = 1.16 \times 10^3 \text{cm}^3$ 와 같은 결과를 얻을 수 있다는 것을 말하고 있다.

以上과 같은 石筍 특히 speleothem의 形成理論은 純粹한 物理化學的인 領域에 屬하는 問題이며 여기에 洞窟學의 實際的인 山 知識을 導入하여 研究를 助長시킨다면 더욱 바람직한 結果가 얻어질 것으로 期待한다. 다만 現在로선 이와 같은 理論을 그대로 機械的으로 實際問題에 適用한다는 것은 거의 不可能하다고 생각된다.

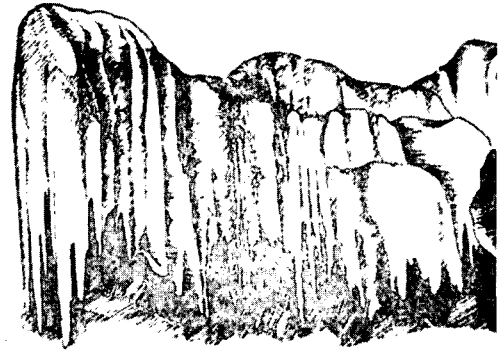


Figure 9. Draperies ; they are speleothems which are transformations of a Flowstone or which formed the delicate shape like a lace.



Figure 10. This is called a travertine terrace ; it is consisted of rim pools and rimstones.

2. 流石(Flowstone)

이 堆積物은 壁面을 따라 흐르거나 瀑布狀으로 堆積하거나 curtain狀으로, 때로는 curtain 末端的 lace와 같이 精巧하게 생긴 堆積物로 (Fig. 8.9) 前者가 空間上에서 獨自的인 成長을 함에 반하여 flowstone은 壁面을 따라 흐른다는 것이 다를 뿐 本質的으로는 同一한 生成過程을 거쳐 形成된 것이다.

3. 石灰華堆積物(Travertine deposits)

CaCO₃를 多量含有하는 洞窟流가 河床勾配가 큰 急流部에서 물의 甚한 蒸發로 炭酸 calcium을 沈積, 河床을 가로막아 그 上流部에 rim pool (通常 rimstone pool을 略하여 稱함)을 만든다 (Fig. 10). 이 때에 河床을 가로막은 碎屑性堆積

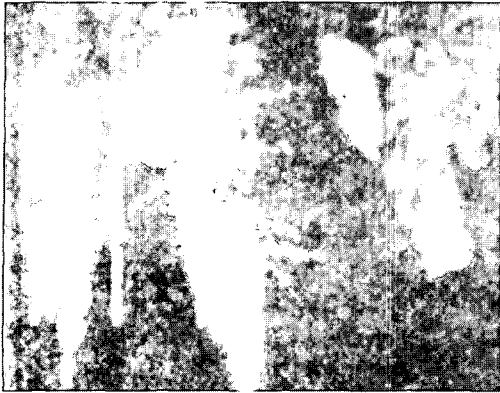


Figure 11. Slender Helictites on the surface of stalactites.

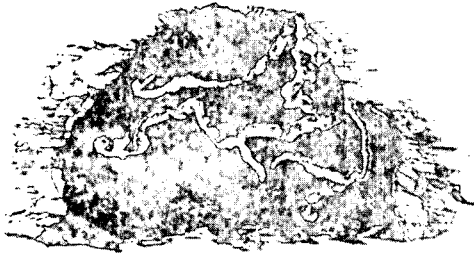


Figure 12. Helictites which grow from the ceiling independent of the direction of gravitational force.

物인 natural levee를 Rimstone 또는 rimstone dam이라고 한다. 흔히 數10段의 石灰華段丘 (travertine terrace)를 만드는데 우리나라에선 草堂窟과 古藪洞窟의 것이 有名하며 仙女玉甞의 別稱을 가지고 있다.

4. 其他 堆積物

1) Helictites(曲石)

Speleothem 中에는 여러 가지 模樣으로 精巧하게 堆積하는 것들이 많으나 그 中에서도 helictites는 奇妙한 堆積物이며 (Fig. 11, 12, 13), 아직까지도 그 形成機構가 確實하게 밝혀지지 않은 것으로 여기에 또 하나의 成因에 관한 理論을 提示하려고 한다.

이와 같은 Helictites는 韓國의 洞窟은 어디서나 觀察되며 洞窟堆積物로는 널리 알려져 一般

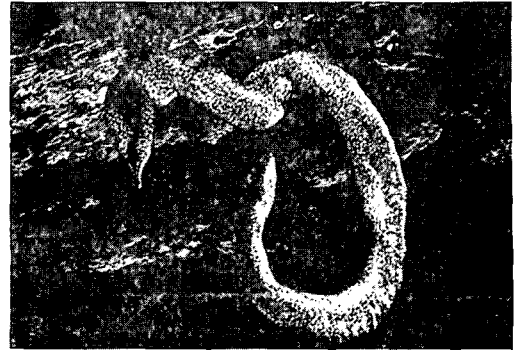


Figure 13. Helictites which grow from the ceiling in a twisted shape independent of the direction of gravitational force.

化된 느낌도 없지 않아 있다.

觀察 結果에 의하면 helictites는 空氣의 流通이 나쁜 閉塞된 洞窟內의 環境에서 生成되며 限定된 空間에 群集하여 堆積하며 columns나 stalactites, flowstone의 주름진 새잡이나 天井에 寄生하는 狀態로 흔히 存在하며 limestone의 joints crack를 따라 網目狀으로 發達하는 것을 볼 수 있다.

以上에서 弊見한 helictites의 成因에 관한 諸說을 紹介하고 그 問題點을 살펴보면

④ Helictites는 거미줄에 炭酸 calcium이 沈積하여 이루어진 것이다.

※ 그러나 helictites는 거미줄과 같은 規則性도 없으며 거의 閉塞된 空間에 거미가 살기도 어려우며 helictites 調査時 그 옆에서 거미줄이나 거미를 본 事實이 없다.

⑤ Helictites는 洞窟內 氣流의 移動에 의해서 形成된 것이다. 특히 이 學說을 主張하는 學者들은 helictites라고 하지 않고 “anemolite”라고 부른다.

※ 그러나 實際問題에 있어 helictites는 空氣의 流通이 거의 없는 곳에서 生成될 뿐만 아니라 假令 “anemolite”를 合理化한다고 하더라도 空氣의 流動方向에 따른 方向性을 helictites 表面에서 發見할 수 없는 以上 이 理論은 成立될

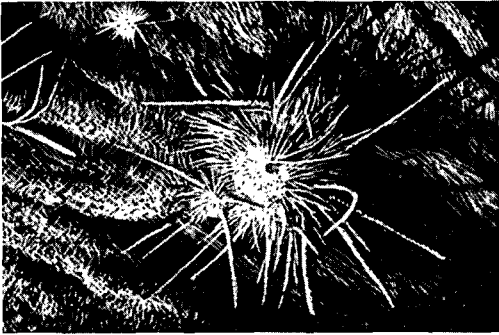


Figure 14. Helictites constituted of aragonites ; these delicate things are also called anthodites.



Figure 16. Anthodites on the mud wall of Gosugul cave. (The scale is 1/2)

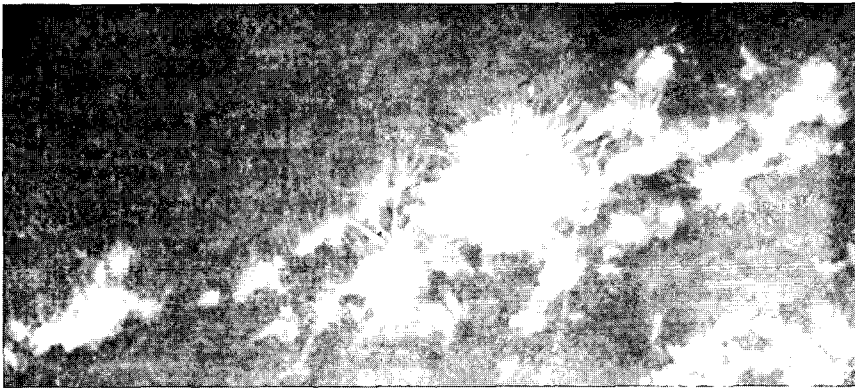


Figure 15. Crystals of aragonites at Gosugul cave ; these are good anthodites and cave deposits contrast to gypsum flowers. (The scale is 1/4)

수 없는 것이다.

◎ Helictites는 微細한 中心導管이 있어 이 導管을 通하여 물에 溶存된 calcite가 堆積하여 生成된 것이다.

※ 그러나 helictites는 stalactites의 基本 form인 strawpipe와는 달리 그 斷面構造가 緻密하여 犬齒狀의 針狀結晶으로 되어 있다는데서 이 理論은 성립되기 어렵다.

④ Helictites는 speleothem 表面에 不溶性物質의 粒子가 附着하여 이것이 calcite 溶液의 進路를 遮斷 重力의 方向과는 相關없이 生겼다.

※ 그러나 helictites의 顯微鏡觀察에 의하면 無色 透明한 calcite의 結晶이란 점에서 不溶性物質이 없다는 것이 밝혀졌다.

以上の 研究는 speleothem의 大家인 日本國 愛媛大學地質學教室의 鹿島愛彦博士의 見解로 筆者도 同感임을 밝혀둔다.

다만 以上에서 紹介한 helictites의 成因에 관한 諸說에 筆者의 意見을 添加한다면 古藪洞窟 長期觀察(1976.3.5~9.16)의 結果에서 얻어진 結論은 aragonite의 結晶(Fig. 15)으로 된 anthodites나 (Fig. 16) stalactites에 寄生한 (Fig. 11) helictites나 limestone 母岩의 天井에 附着된 (Fig. 12) helictite의 生成條件은 閉塞된 洞窟內에서 洞窟流의 流入과 流出의 不合理 즉 流出孔은 地下水準面下의 shipon을 通하되 流入되는 地下水準面下의 shipon보다 1/4 程度로 狹少하며 豪雨 뒤의 強力한 地下水의 流入은 密閉된 空洞內에 衝擊波를

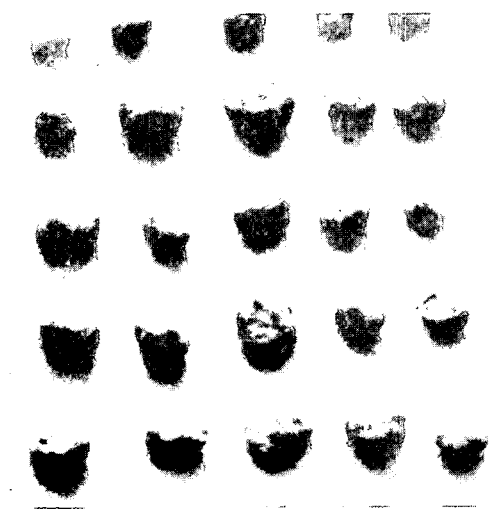


Figure 17. Mud pisolites : calcites and mud are alternately accumulated. (The scale is 1/1)

일으킨다. 豪雨 뒤, 이 密閉된 空洞밖에 있으면 前述한 衝擊波에 의한 轟音を 波狀으로 들을 수 있다. 이로 인한 水分子의 飛散은 helictites의 直接的인 成因이 되며 이와 비슷한 예는 江原道 溟洲郡 玉溪面 山溪里의 石花洞窟에 있어서의 gypsum flower 成因에 관한 文熙重氏의 觀察 結果와 거의 비슷하다는 데서 더욱 興味롭다.

石花洞窟의 開拓者인 文熙重氏의 多年間에 걸친 觀察의 結果는 洞窟內에 질은 안개가 서릴 때의 石花의 빛나는 모습에 着相하여 질은 안개 때마다 石花가 成長하는 것 같다는 理論이며 매우 信憑性이 높은 觀察로 筆者의 Helictites의 生成理論과 비슷한 水分子 속의 Calcite에 의한 沈積을 暗示하고 있다.

以上에 展開한 筆者의 假設은 anemolite라고 부르는 學者들의 氣成說과는 달리 水分子의 飛散에 따른 衝擊波說이라고 假定하는 同時에 helictites의 成因은 單純한 生成 過程을 거치는 것이 아니라 helictites를 堆積할 수 있는 環境因子的 強度에 따라 여러 가지 形成機構를 가진다고 생각하지 않으면 안될 것이다.

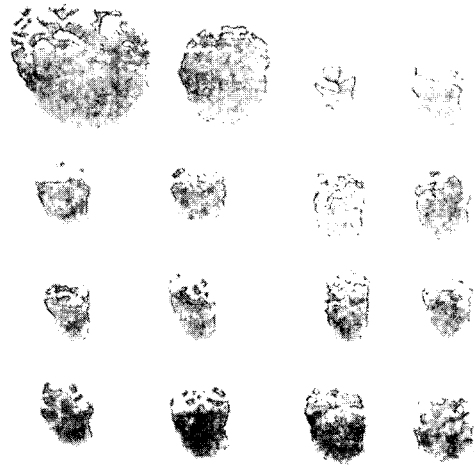


Figure 18. Pisolites at Gosugul cave : they are formed in the rim-pools of travertine terrace. (The scale is 1/1)

2) Anthodites(石花)

Anthodites의 語彙를 살펴 보면 Greece語의 “Anthos” 花에서 온 것임을 알 수 있다. 따라서 一般的으로 洞窟內에 生成된 꽃模樣의 二次生成物에 대하여 부쳐진 이름으로 (Fig. 15, 16) 어느 洞窟에서나 細密히 觀察하면 發見할 수 있다. 이와 같은 anthodites의 發達이 많고 特色있는 洞窟로는 古藪窟, 高氏窟, 石花窟, 聖留窟, 草堂窟, 佳谷虎窟 등이며 草堂窟에 있어서는 石筍이나 鍾乳石表面에 附着되어 發達하며, 古藪窟에서는 洞窟벽에 mushroom같이 (Fig. 16) 高氏窟에서는 岩石表面에 石花窟에서는 gypsum flower가 一定한 規則性없이 發達하고 있는 것을 볼 수 있다.

이와 같은 anthodites는 주로 carbonate calcium의 同質多像으로 calcite와 aragonite로 되며 흥미로운 洞窟의 二次生成物로 사랑을 받고 있다.

3) Pisolite (豆石)

Pisolite는 보통 洞窟 내에서 産出되는 獨立된 微小한 speleothem이며 (Fig. 17, 18, 19), Greece語의 “Pisos” 원두콩에서 온 말이다. 특히 pisolite

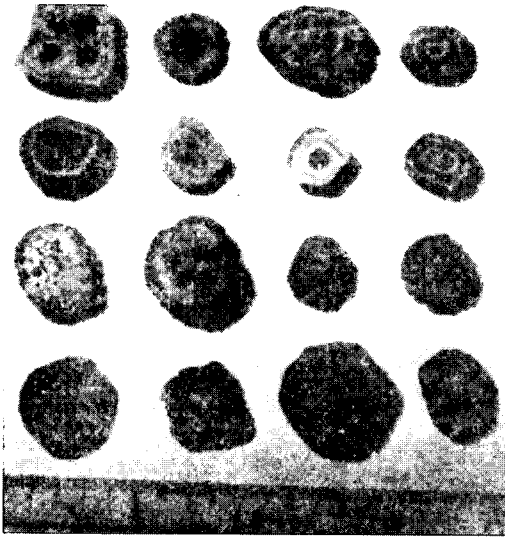


Figure 19-A. Pisolites collected in the deep part of Sugeonggul cave. (The scale is 1/1)

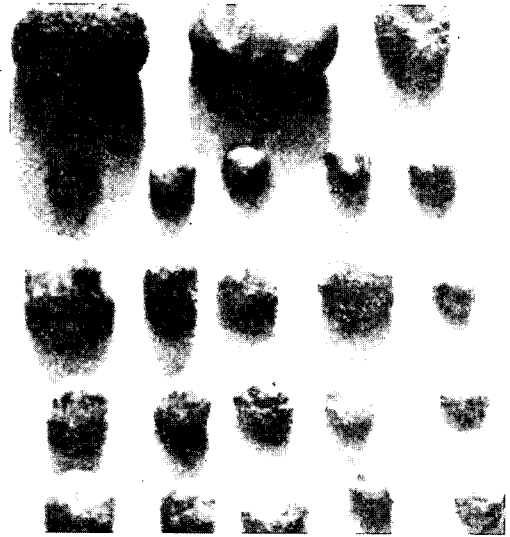


Figure 19-B. The cross-sections of large pisolite : Note the structure formed by concentric circles (Gosugul cave)

의 直徑이 2mm 이하의 것은 oolite(魚卵石)라고 하며 微細한 生物의 遺骸 또는 巖石片이나 calcite 結晶의 破片이나 木炭 등을 核으로 同心圓狀으로 沈積하는 것이 特徵이다. 이와 같은 pisolite의 表面이 잘 다듬어진 것을 洞窟眞珠(cave pearl)라고 한다.

이상과 같은 pisolite는 일찍이 많은 研究가 이루어져 concentric pisolite와 (Fig. 17) bunchy pisolite (Fig. 18)로 分類되며 이들 兩者의 合成된 것을 composit pisolite (Fig. 21)라고 한다. 그 形成機構를 考察하여 보면 다음과 같다.

㉑ 洞窟 天井에서 滴下된 물이 洞床의 凹所나 splash cup 內에서 核物質에 encrusting된 것을 다시 攪拌磨耗한 것으로 그 中心核은 흔히 巖石片을 갖고 있으며 concentric pisolite가 된다.

㉒ Rimpool과 같은 比較的 停滯된 물 속에서 炭酸石灰의 沈積으로 이루어지며 bunchy pisolite가 된다.

㉓ 洞窟流에 의한 轉動과 渦動의 生成物로 河床에서 이루어진 것을 composite pisolite라고 한다.

以上에서 폐견한 pisolite는 우리나라의 모든 洞窟에서 發見되는데 그 形態的인 特徵이 多樣하며 巷間에서는 흔히 박지 菓子라고 하여 漢藥材로 쓰여지고 있다.

4) Botryoid (葡萄狀堆積物)

이 堆積物은 靜水 中에서 堆積되는 葡萄狀의 二次生成物 洞窟 內의 沼池의 湖岸에서 季節的으로 水位面의 變動이 일어나는 帶狀岩壁(Fig. 22)에 堆積하거나 地震 等 急激한 地盤運動時 破壞된 二次生成物이 靜水帶에 轉落되면 그 表面에 葡萄狀球狀體를 堆積하게 되는데 그 堆積機構를 살펴 보면 大略 다음과 같다.

靜穩한 池沼 內에 落下된 點滴水는 水面에 衝擊波를 發生하며 되풀이 되는 동안 水中에 溶存된 calcite가 巖石片이나 岩壁 또는 二次生成物에 葡萄狀으로 沈積gau 洞壁이나 天井에 形成된 cave grape와는 根本的인 成因을 달리하고 있다.

古藪洞窟과 같이 垂直的의 肢節이 큰 洞窟에서는 成長을 繼續하고 있는 botryoid와 相當한 高

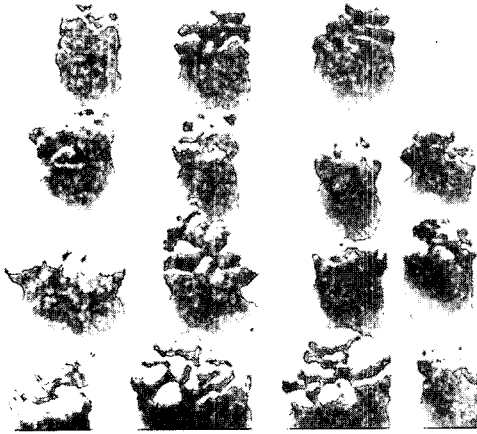


Figure 20. Pisolites collected at Gossigul cave. They formed nut-shapes. (The scale is 1/1)

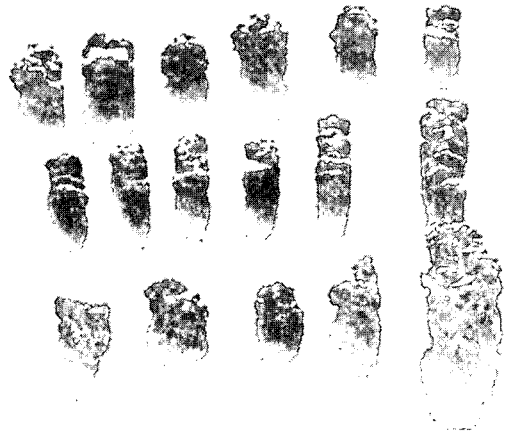


Figure 21. Compound pisolites collected at Gossigul cave ; they are often called axiolites. (The scale is 1/1)



Figure 22. Botryoid ; This is a grape-shaped speleothem formed through an accumulation in water (Sujeonggul cave)

位面에서 다시 溶蝕되어가고 있는 過去の botryoid를 同時に 觀察할 수 있어 더욱 研究價値를 높혀 주고 있다.

5) Mud stalagmites (泥土石筍)

Mud stalagmites는 cave silt가 卓越하게 많은 洞窟에서 一般의으로 生成된다(Fig. 23).

洞床의 진흙 위에 떨어진 點滴水 中の calcite 沈積으로 생긴 一種의 mush-room과 같은 stalagmites로 잡아 당기면 容易하게 拔取된다. 이와 같은 mud stalagmites는 南窟(溫達窟)에서

가장 顯著하며 이밖에도 佳谷虎窟 등에서 發見된다. 그 生成機構를 보면 처음에는 點滴水에 의한 泥土 splash cup을 擴大하며 calcite의 沈積에 따라 뿌리를 박는데 이 때에 cave silt에 外部에서 搬入된 砂質物이 많고 不純物이 많으면 基底部가 얇아 水平層을 이루나, 微細한 眞洞窟泥로 되면 깊고 不規則한 calcite의 根部를 가지는 것이 通例로 되며 이 뿌리를 conulite라고 하여 속이 빈 管狀으로 된다(Fig. 23). 이 堆積物에는 堆積當時에 棲息하던 動物의 遺骸나 二次生成物의 破片을 包含하는 수가 많다.

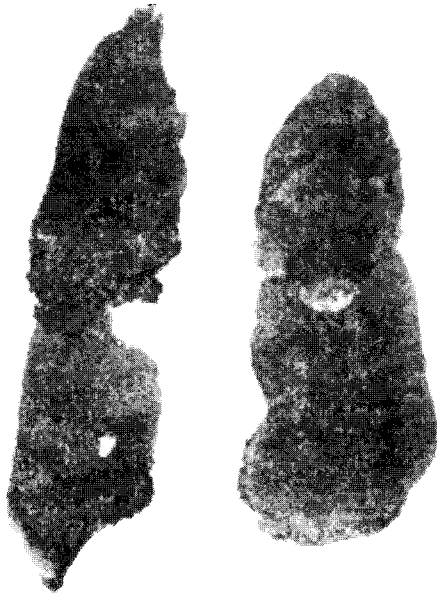


Figure 23. Two types of mud stalagmites : one of them has a flat bottom and the other has a long-tube-shaped root. It is called conulite and is like a mush-room. (The scale is 1/8)

IV. 洞窟의 開發과 保存에 關한 意見

1. 洞窟의 地理的分布와 保存의 必要性的 限界
 “韓國의 Karst 地形”이란 論題로 1969년 10월 筆者가 發表한 論文에는 南北韓을 總網羅한 石灰岩地帶와 Karst 地表現象이 顯著한 地域을 圖上研究하여 全國의 1:50,000 地形圖 728枚中 北韓地域에 50枚 南韓에 21枚 都合 71幅에서 (Fig. 25) doline나 Uvale와 같은 Karst hollow를 (Fig. 26) 地圖化하였는데 이들 地形은 洞窟과 不可分離의 關係를 가지고 있을 뿐만 아니라 이들 Karst hollow의 地下에는 거의 例外없이 大小의 洞窟이 發達하고 있다는 점에서 韓國의 洞窟分布圖라고 하여도 無妨할 것이다. 이와 같은 研究를 基礎로 하여 韓國의 洞窟地域을 大別하여 보면 ① 平安南道 中部地域 ② 黃海道 中東部地域 ③ 咸鏡南道 南部地域 ④ 江原道 中東部地域 等 4個의 集中的 分布地域과 多數의 散在的 分

布地域으로 나눌 수 있다(Fig. 24). 이들 洞窟地域의 洞窟數推計方法의 先例는 1964년 美國洞窟協會에 의해 發行되고 美國洞窟學界의 中心의 人物인 G.W. Moore와 B.G. Nicholas에 의해 著述된 Speleology : The study of Caves를 보면 美國全域을 地圖化하고 1mile²當 洞窟의 推定分布數를 0-1, 1-10, 10-100, 100-1,000 等 4個의 類型으로 나눈 것을 볼 수 있다(Fig. 27). 이와 같은 計算方法에 의하면 韓國의 1 : 50,000 地形圖 1枚는 平均 250mile²(約 400km²)가 되므로 美國의 下位分布數인 1mile²當 1~10의 中間을 취하여 5個로 할 때 1 : 50,000 地形圖 一葉當 洞窟推定數는 1,250個란 엄청난 數字를 나타내고 있다.

그러나 實際問題에 있어 비록 Karst 地域의 圖葉이라 할지라도 石灰岩과 非石灰岩의 混在 및 地形의 低位平坦面이 많은 것을 考慮에 넣으면 Karst 地域의 1 : 50,000 地形圖 1葉當의 分布數를 約 250個로 推定함이 좋을 것 같다. 이와 같은 方法으로 볼 때 Fig 25.에서 보여주는 바와 같이 北韓地域의 50葉에 12,500個, 南韓의 21葉에 5,250個로 都合 17,750個란 엄청난 洞窟이 分布한다고 推定할 수 있다.

以上과 같은 洞窟內에는 大小 貧富의 差異는 있겠으나 二次生成物(speleothem)과 生物相이 發達하여 있다고 보아야 할 것이다.

여기서 우리들의 研究對象이 되는 것은 景觀의 아름다움에 있는 것도 아니요 speleothem의 大小에 있는 것도 아니며 어떠한 洞窟이라도 研究의 價値는 지니고 있으므로 다만 數量的으로 많은 洞窟을 比較研究 내지 對比한다는데 學問的인 意義가 있다고 본다. 先進諸國의 예를 보더라도 天然記念物, 特別天然記念物 等으로 指定된 洞窟은 開發할 수 있는 範圍內의 것은 完全히 開發하여 觀光收入을 올리거나 重要한 地球科學學習場으로서 또는 洞窟堆積物研究所나

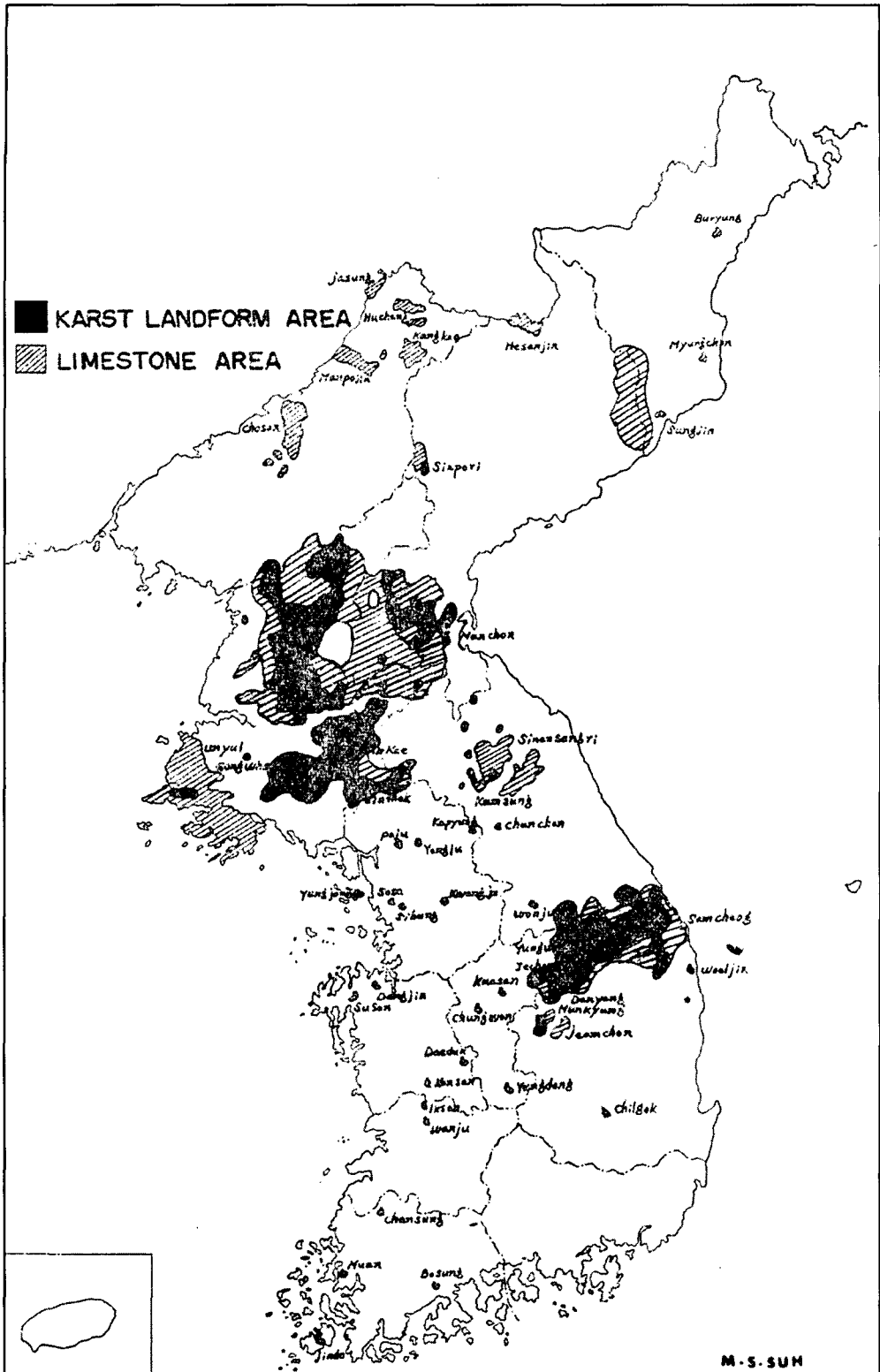


Figure 24. Geographical distribution of limestone and karst landform in Korea

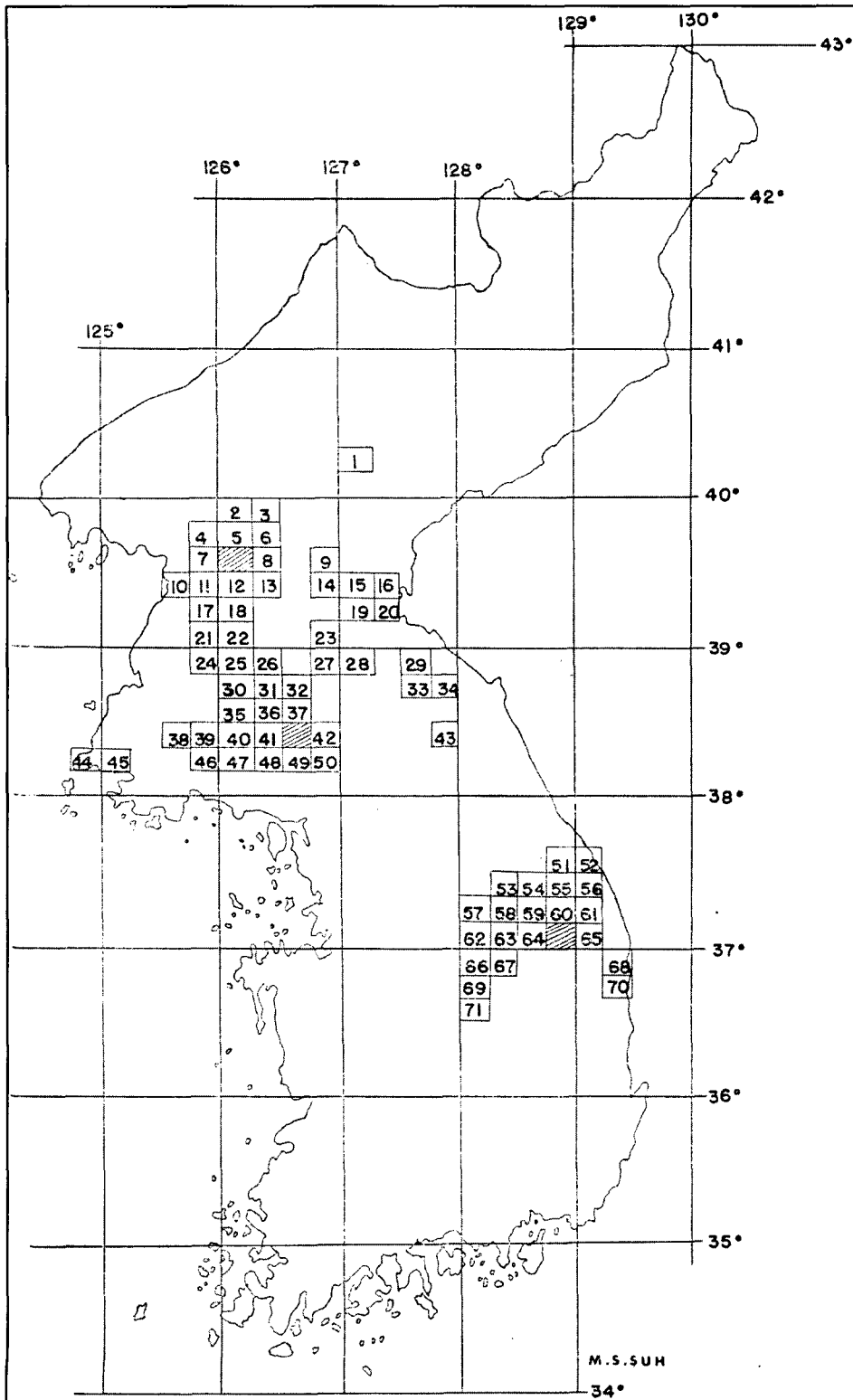


Figure 25. Chart of karst by series number

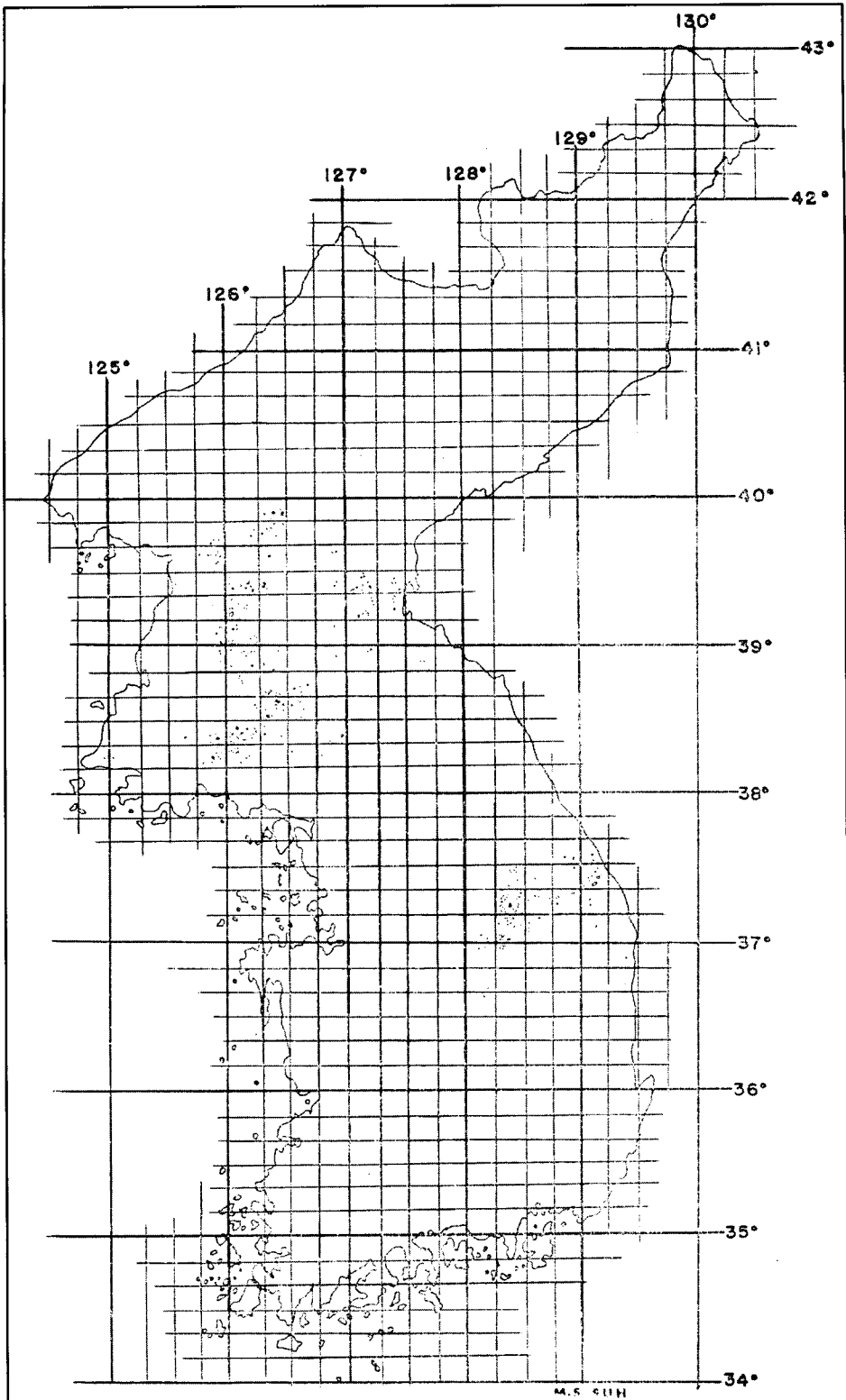


Figure 26. Geographical distribution of karst in Korea

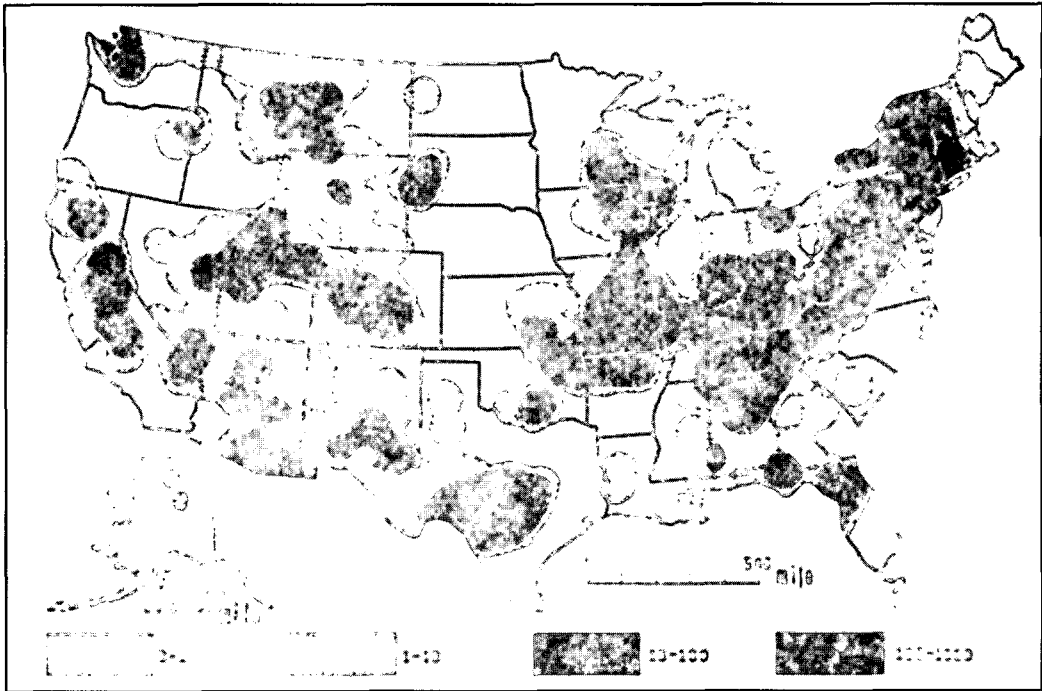


Figure 27. The distribution of caverns in the U.S.A. The legend indicates the number of limestone caverns per one squaremile

地下生物研究室을 마련하여 眞摯한 研究를 하고 있는 現實에 直面할 때 無條件의 保存만이 最善의 方法이 아니라는 것을 밝혀두고 싶다.

2. 有益한 地球科學 教場으로서의 洞窟

洞窟內의 地形은 limestone의 化學的溶蝕과 機械的인 侵蝕에 의해 形成된 것이며, 地表地形의 下刻的進化에 따라, 地下水準面의 下降으로 地下水準面 以下에서 生成된 巖石의 溶蝕과 磨蝕에 따른 物理化學的變化를 考察할 수 있는 유일한 空間인 同時에 巖石의 組織上의 硬軟의 차에 따른 選擇侵蝕(selective erosion) 등, 우리들의 注意를 불러 일으키고 있다.

한편 洞窟內의 二次生成物의 斷層과 褶曲 등 赤裸裸한 斷面을 볼 수 있다는 것은 單純히 觀光資源으로서만 아니라 學生들의 修學旅行을 통한 學習場으로도 洞窟觀光은 널리 普及되어야 할 것이다.

특히 洞窟生物로 象徵되는 박쥐와 박쥐의 排泄物로 먹이 連鎖(food chain) 作用을 일으키며 모진 비바람과 季節的인 氣溫의 變化가 없으므로 生態的인 變化 즉 保護色 등 適用되지 않음으로 無色 또는 盲目的인 生物들이 緩慢하게 그 觸角을 驅使하며 移動하고 있는 것을 볼 때 生物學의 門外漢도 環境의 適應性과 不要器管의 退化乃至 進化란 有益한 觀察과 科學的 着想을 하게 되는 것이다.

따라서 國民의 情緒純化 및 科學知識普及에도 一助가 된다고 본다.

3. 觀光資源으로서의 洞窟

Asia의 最大 規模를 자랑하는 日本國 秋吉台의 觀光을 위한 來訪客이 日 最大 30,000명을 넘는다고 紹介하는 것을 들은 記憶이 있다.

이 秋芳洞은 洞窟內部施設이 mammoth scale이며 車道와 같은 넓은 通路와 機關車가 통할 수

있는 人工 tunnel, 落水防止施設과 休憩施設, 300m 높이의 台地上(karst plateau)으로 觀光客을 直送할 수 있는 elevator 등 完璧한 施設을 갖추고 있어, 交通癱痺 등으로 觀光客에게 不便을 주는 事例 등을 가히 생각할 수조차 없다. 한편 Europe에서의 開發 例를 보면 가장 오래인 歷史와 傳統을 가진 Yugoslavia의 Postojna 洞窟은 全長 16.75km로 Europe에선 가장 아름다운 觀光洞窟로 알려져 있다. 洞窟內 觀光에는 電車가 複線으로 2km를 달리며 徒步로서 約 2km, 都合 4km의 觀光 course를 마련하고 特別히 學者나 專門家들을 위한 3km course가 마련되어 있다. 이 洞窟 內에는 世界第一次大戰時 Russia의 捕虜들의 勞動力으로 建設되었다는 Russian Bridge가 있으며 이곳을 건너면 Concert Hall이란 大畫廊이 있는데 이곳은 10,000명이 同時에 參觀 可能하다고 한다.

한편 이 洞窟이 世界的으로 알려지고 一躍 有名하여진 것은 20世紀初葉에 發見된 blind salamander인 *Proteus anguineus* 때문이며 이 稀重한 眞洞窟性生物은 記念郵票를 發行하여 더욱 Postojna 洞窟을 돋보이게 하였다.

한편 Italy의 洞窟로서는 Grotto gigante가 有名하며 Trieste 附近의 觀光洞窟로 Europe 第一의 巨大한 galleries가 있는 것으로 유명하다. 이 巨大한 galleries에는 Vatican의 San Peter 大聖堂을 完全히 집어넣을 수 있는 크기라고 한다. Vatican 大聖堂의 높이는 132m이며 길이가 212m라는 것을 생각할 때 얼마나 巨大한 畫廊인가 하는 것을 짐작하고도 남음이 있다.

다음으로 France의 洞窟로서 유명한 것은 Grottes do choranch로서 Grenoble 西南 約35km의 Bonme 溪谷에 沿한 Choranche 마을에 있다. 洞窟 內에는 길이 1m 以上の 無數한 soda straw(macaroni)가 사람의 손이 닿는 곳에 水簾

처럼 아름다운 유리관을 드리우고 있으며 Europe의 다른 나라에선 볼 수 없는 spelethem의 unique한 發達을 볼 수 있다. 이 洞窟은 高山地帶에 發達하고 있어 11월부터 3월까지 觀光開放을 休止하고 있다.

한편 美國의 洞窟로서는 1799년에 發見되었고 19世紀末葉에 本格的인 開發을 하여 巨大한 그 모습을 世上에 드러낸 Kentucky州의 Mammoth Cave가 유명하며 世界에서 가장 아름다운 洞窟로 紹介된 Virginia州의 Luray Cave는 그 景觀面에서 比肩할 洞窟이 없다고 하며 Ball Room의 壯觀이라든가 이름 높은 The fried egg 나 巨大한 Stalacpipe Organ의 演奏는 찾는 이로 하여금 驚愕을 금치 못하게 하고 있다.

한편 우리나라 觀光 人口의 最近의 動向은 보는 觀光에서 行動으로 옮기는 觀光으로 그 傾向性이 돋보이기 始作하였다.

登山·스키·海水浴·狩獵과 Caving 등이 그것이며 그 중에서도 洞窟觀光은 그 人氣 第一位로 脚光을 받고 있다. 그러나 觀光洞窟들의 施設이 未備하여 날로 增加一路에 있는 觀光人波를 收容할 수 있는 態勢가 未洽한 實情에 있다.

한편 洞窟觀光을 위한 基盤施設로서는 交通施設, 宿泊施設, 休憩施設, 食堂과 駐車場, 案内施設인 立看板과 pamphlet, 觀光記念物과 土產品賣店 및 洞窟을 入洞前에 理解할 수 있는 博物館施設 등을 들 수 있겠고, 洞窟內部施設로서는 輸送施設 通路와 照明, 便所 外 洞窟生物飼育施設과 洞窟堆積物研究施設 등을 들 수 있다.

또한 이들 施設物들은 安全도가 높으며 防鏽 對策이 徹底히 講究되어야 할 것이다.

한편 研究機關과 施設로서는 Yugoslavia에 있는 Postojna Karst Institute와 Italy의 Gigante Cave의 資料館과 美國의 Lascaux Cave의 洞窟生物培養室 日本秋吉台科學博物館 付設 洞窟生物研究

室과 筆者가 1976년 開發의 主役을 맡았던 古藪 洞窟內에 洞窟堆積物研究室을 設置하여 後代를 위한 重要한 研究資料를 造成하고 있다.

4. 古藪洞窟開發過程에서 나타난 問題와 對策

天然記念物 256호로 指定된 古藪洞窟은 그 發達規模는 비록 작으나(總延長 1,300m) 그 堆積物이 아름답고 垂直的의 肢節이 잘 發達하여 그 景觀密度로서는 美國의 Ruray Cave와 競艶할 수 있을 것이라는 表現은 결코 誇張된 것이 아니다.

이 洞窟은 筆者가 1973년 이래 10여차에 걸쳐 調查研究하여 cave system을 把握하였고 裕信學園의 支援財團에서 開發投資를 하기에 이르렀다. 그러나 前述한 바 垂直的 肢節의 發達과 shipon의 發達이 顯著하여 開發 途上에서 많은 어려움을 겪은 것만은 否認할 수 없는 事實이겠으나 당초 目標한 바 開發의 意圖에는 適中하였다고 할 수 있다. 다만 다음과 같은 몇 가지 問題點을 들지 않을 수 없다. ① 最大 peak time의 交通痲痺 ② 照明公署로 인한 巖質의 變化와 外來植物의 着根 ③ nicotine 公署로 인한 洞窟生物의 遭難 ④ 洞內 氣溫의 繼續的 上昇等 諸問題가 있으나 첫째 問題는 새로운 出口를 開發함으로써 解消될 것이며, 둘째번의 問題는 週期的으로 照明色을 바꾸고 光度를 낮추므로서 解決될 것이며, 셋째번의 問題는 國民道義心을 仰揚시키며 適切한 啓蒙과 案內로서 넷째번은 洞窟內에 空氣調節裝置를 設置함으로써 解決될 것으로 본다.

V. 結 論

以上에서 洞窟의 類型別 生成理論과 그 地形學의 特性 및 二次生成物에 대한 筆者의 見解를 披瀝하였다.

또한 終章에선 洞窟의 開發과 保存에 관한 意見을 提示하여 江湖諸賢과 洞窟에 뜻있는 여러분의 批判과 敎示 있으시기를 바라며 이 작은 論文이 洞窟을 研究하려는 이들에게 多少나마 參考가 된다면 더 없는 榮光으로 생각하겠다.

文 獻

- W.D. Thornbury (1954) Principles of Geomorphology. pp.316-353.
- E.A. Hinds (1943) Geomorphology. pp.732-762.
- Von Engeln (1942) Geomorphology. pp.563-587
- A.K. Lobe다 (1939) Geomorphology. pp.99-151
- F. Folson (1956) Exploring Americal Caves.
- C.E. Mohr & T.L. Poulson (1966) The Life of the Cave.
- Routlege & K. Poul (1962) British Caving.
- G.W. Moor & B.G. Nicholas (1964) Speleology : The Study of Caves.
- G.M. Barker & A.C. Frostick (1947) Pisoliths andooliths from Australian caves.
- M.D. Black (1951) Loose Carbonate Accretions from Calsbad.
- V.C. Allison (1923) The growth of stalagmites and Stalactites.
- A.L. Bloom (1968) The surface of the Earth pp.24-33.
- 山內 浩 (1964) 洞穴探險, 筑摩書房.
- 吉井良三 (1969). 洞穴學, 岩波新書
- 日本洞穴團體研究報告 (1971~72). 洞窟研究
- 井村昭弘 (1973). 秋芳洞의 成因과 發達, 洞窟研究
- Japan Caving (1972~75). 日本洞窟協會誌.
- 浜田清吉 (1970). 秋吉台 Karrenfeld 地形研究, 洞窟研究
- 河野通弘 (1971). 石灰洞의 成因에 關하여 洞窟研究.
- 愛媛大學洞窟研究會 (1972) 洞穴學草稿.
- (1976) Yugoslavia 洞穴調查隊 報告書.
- 洪始煥 (1976). 우리나라 自然洞窟의 地理的分布와 그 特性에 關한 研究.

- 任文淳 (1976). 丹陽古藪洞窟과 麗川窟의 環境要因과 그 動物相에 관한 研究
- 鹿島愛彦 (1974). 洞穴産鑛物目錄 愛媛大學自然科學 D. Series.
- _____ (1962). 平尾台 Karst の石灰洞群に見られる曲流現象 D. Series.
- _____ (1969). 石灰洞産 Pisolite 愛媛大學自然科學 D. Series.
- _____ (1965). So called Anthodite from Miyama Cave. D. Series.
- _____ (1966). Helictites in Japan. Miyama Cave. D. Series.
- 徐茂松 (1966). 韓國의 石灰岩地形, 只山論文集 pp.68-78.
- _____ (1972) 新地形學 pp.33-38. 10舍.
- _____ (1976). 洞窟微地形 Quick Mud와 Cave Jewel에 관한 研究. 洞窟學會誌.
- _____ (1971). 江原道三陟邑溶蝕湖의 成因的考察 建大學報.
- _____ (1973). 韓國의 洞窟地形과 그 特色, 洞窟學會誌.
- _____ (1967). 閔三 Polje의 成因的考察, 大韓地理學會.
- _____ (1969). 韓國의 Karst 地形, 大韓地理學會.