

白龍窟의 成因과 二次生成物에 關한 洞窟地形學的 考察

亞州大 教授·學會 副會長 徐 茂 松

1. 序 論
2. 白龍窟의 歷史
3. 白龍窟 生成論과 生成年代 推定
4. 白龍窟과 附近 一帶의 地形
5. 白龍窟과 附近 一帶의 地形
6. 白龍窟의 主된 洞窟推積物
7. 結 語

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 남아있으니, 그것이 바로 海底地形과 地下에 秘藏된 洞窟現象인 것이다.

元來 이와같은 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 一部分으로 取扱되어 Karst地形學에 依해 研究開發 되었으나, 最近에는 Speleology란 獨立된 學問分野로서 體系化하여 보려는 움직임이 強力하게 擡頭되어 Geomorphology, Geology, Micloclinatology, Cosmicscience, Militagy, Strategy等 諸分野에서 活潑한 움직임을 보여주고있는 이때, 洞窟을 사랑하는 여러분과 함께 白龍窟에 對한 地形學的研究를 하게된 것을 多幸으로 생각한다.

끝으로 이 글을 쓰는데 있어 適切한 助言과 文獻을 周旋하여 주신 洪始煥教授와 任文淳教授님께 感謝를 드린다.

II. 白龍窟의 歷史

白龍窟이 世上에 널리 알려지기는 1976年 平昌郡美灘面馬河里 文布部落에 居住하는 鄭和春氏 四父子의 探險으로 비롯되며, 平昌郡當局의 積極인 保存管理와 觀光資源으로서의 強力한 意味를 附與하기 爲한 最善의 努力으로 内外洞窟學界人士들의 招請調査를 周旋함으로서 洞窟이 지니고있는 學問인 側面과 資源性이 認定되기에 이르렀으니, 여기에 參與한 學界人士와 主된 研究分野는 大略 다음과 같다.

洪始煥教授에 依한 觀光資源으로서의 白龍窟, 崔茂藏教授에 依한 考古學的 研究와 南宮俊, 任文淳教授에 依한 生物學的研究, 鹿島愛彦(Kashima Naruhiko)教授에 依한 白龍窟의 洞窟鉦物學的研究 筆者에 依한 洞窟堆積物의 研究와 並行된 Cave System의 把握과 洞窟測量을 實施함으로서 多方面에 걸친 研究가 他洞窟에 比해 보다 알차게 이루어 졌다고 생각된다.

한편 白龍窟名에 있어서도 白雲山下의 石窟에서 白龍이 飛天하였다는 傳說에 緣由하

며, 壬辰倭亂當時 難民들이 構築한 것으로 보이는 溫突이 入口의 微光帶에 자리잡고 있어 亂世의 避難처였음을 歴歷히 엿볼수 있는데 洞窟自体가 잘 保存되고 있는것은 그 自然的인 立地條件이 地理的障壁에 依해 保護되고 있기 때문이다.

秘典인 鄭鑑錄의 記錄을 보면, 八雲之上이라 하여 白雲·達雲·葉屈雲·斗雲·臥雲(누운)·八雲·巨雲·吉雲의 위와, 五彌之下라 하여 水彌·下彌·葛彌·地彌·魯彌의 아래에 있는 白雲山 周辺이 千人生活之地요 亂世之避難처란 漠然한 期待를 걸고 最惡의 交通事情에도 不拘하고, 漢江의 穿入曲流部の 滑走斜面上에서 營農으로 文明과 등지고, 大自然을 벗삼아 數世帶가 이곳에 定着하여 生을 營爲하고 있으니 그들 나름대로의 梅花落地요 桃園境이라고 생각된다.

III. 白龍窟의 位置와 地理的의 與件

白龍窟의 地理的位置는 北緯37度16分20秒 東經128度34分36秒의 交線上에 開口하며, 相對的 比較的 位置로서는 江原道 旌善郡 新東面 德川里와 寧越郡 寧越邑 巨山里와 平昌郡 美灘面 馬河里의 三郡界에 立地하며, 開口部는 江原道 平昌郡 美灘面 馬河里 文希部落이다.

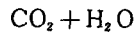
한편 距離上으로 보면 美灘面 所在地에서 15km, 禮美驛에서 15km, 寧越邑 三玉里에서 12km 相距하며 交通事情은 매우 不便하나, 다만 이 洞窟이 지니고 있는 學術的인 側面과 觀光價值性이 높기 評價되고 있을뿐만 아니라, 前述한 地理的 障壁에 依해 景觀이 徹底하게 保存되고 있기 때문이다.

IV. 白龍窟의 生成論과 生成年代 推定

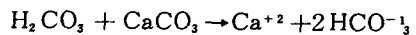
地球表面에는 三大類型의 洞窟이 있는데, 그 첫째가 Limestone Cavern이며, 둘째가 Vol Camic Activity에 依한 Lava tunnel 이며, 셋째가 Wave Cut에 依한 Sea Cave인 것이다. 이中에서도 Soulation과 Mechiancal erosion의 共同營造物인 Limestone Cavern 과 機械的인 作用으로서만이 生成된 Lava tunnel과 Sea cave는 景觀面에서나 構造面에서

單調로우나, Limestone Cavern은 아름다움의 極致요 神秘한 世界인 것이다. 따라서 Limestone Cavern은 반드시 $CaCO_3$ 를 主成分으로 하는 Limestone을 Bed Rock로 化學的인 溶蝕作用으로부터 始作되는 것이다.

勿論 이때에 Limestone을 溶解시키기 爲해 일하는 것은 H_2CO_3 이다. 그것은 地表上의 植物이 썩거나 動物의 呼吸의 結果로 생긴 CO_2 가 물과 結合하여 생긴 것이다. 이와같은 H_2CO_3 는 最大로 濃縮되었다고 하더라도 弱酸인 것이다. 大氣中에는 0.03%의 CO_2 가 있으나 여기서 얻어지는 H_2CO_3 는 洞窟形成에 參與하는 效果는 매우 微弱하다. 따라서 Limestone Cavern을 擴大하는데 必要로하는 大部分의 CO_2 는 天降水가 地下로 滲透할 때 土壤中에서 얻어지며, 이는 腐蝕土의 分解에서 多量의 CO_2 가 生成되고 있는 것이다. CO_2 와 물은 다음의 二重反應에 依해 Limestone을 溶解한다.



↓



即 CO_2 는 물과 結合하여 H_2CO_3 를 만들며 H_2CO_3 는 Limestone에 作用하여 그것을 溶解性 ion으로 分離시킨다. Limestone과 CO_2 10%를 含有하는 空氣에 露出된 물 30cm³는 反應이 끝나기까지 約 7.5g의 Limestone을 Solution한다.

以上과 같은 觀點에서 Under ground water의 物理化學的인 作用으로서 形成되는 Limestone Cavern은 原初的으로 Under ground water table 以下에서 溶蝕進展이 있으며, 그後 Cave Stream이나 滲透水에 依한 Solution과 Erossion의 兩面性을 지니고 있음으로 洞窟의 生成年代를 推定하기에는 그리 어려운 問題가 아니라고 생각된다. 다만 現存 洞窟이 立地하고 있는 地域에 作用하는 Potential한 機械力의 如何에 따라 Under ground water table의 下降 速度가 決定될것 임으로 우리들은 쉽게 侵蝕進展에 따른 Deepening의 速度를 推定함으로써 洞窟의 生成年代를 把握할 수 있을 것이다. 이와같은 立場에서 白龍窟이 지니고 있는 地

域의 與件, 即 地形의 繼續的 進化和 Pleistocene epoch의 Climatic accident에 따른 Under ground water table의 昇降作用等을 考慮하여 Deepening의 速度를 年平均 1mm 土로 假定할 때, 約 30,000年 前에는 白龍窟이 地下水準面以下에 있었다고 믿어진다. 따라서 白龍窟의 年令은 Limestone의 生成年代인 五億年과는 別個의 問題로서 五億年前에 海底에서 生成된 Limestone을 Bed rock로 三萬年前부터 地下水準面 위로 原始狀態의 空洞이 浮上하여 現存洞窟에 이르기까지 繼續的으로 進化하여 온것으로, W. M. Davis의 洞窟生成理論인 Tow cycle theory를 基礎로 推定하였다.

V. 白龍窟과 附近一帶의 地形

白龍窟의 開口部는 南漢江上流部의 incised meander neck의 Under Cut slope上에 發達되며, incised meander의 曲度는 우리나라 屈指의 것으로 旌善郡 新東面 沼洞部落의 提場나루터에서 白龍窟入口까지는 圖上 直線距離로 500m 인데 比해, 漆足嶺을 넘어 洞窟入口까지는 4.5km, 早瀨 急端이 發達한 水路를 따르면 9.5km란 놀라운 結果를 發

見할 수 있다. 따라서 Potential 한 機械力에 依한 侵蝕地形研究에는 훌륭한 研究 Field가 된다.

附近一帶의 Land form을 概觀하면 漆足嶺(594m)의 主陵에 發達한 白雲山(882m)이 洞窟에서 2km北方에 있고, 財峙山(750m)과 有名한 Gomaru Polje가 5km 西쪽에 있으며, 漢江을 境界로 南쪽에는 神屏山(687m), 高古山(857m)이 5km 南方에 있어 險峻한 中部山岳地帶라는 것을 皮膚로 느낄 수 있는 地域으로, 地形學的으로는 滿壯年期의 山勢를 나타내고 있다.

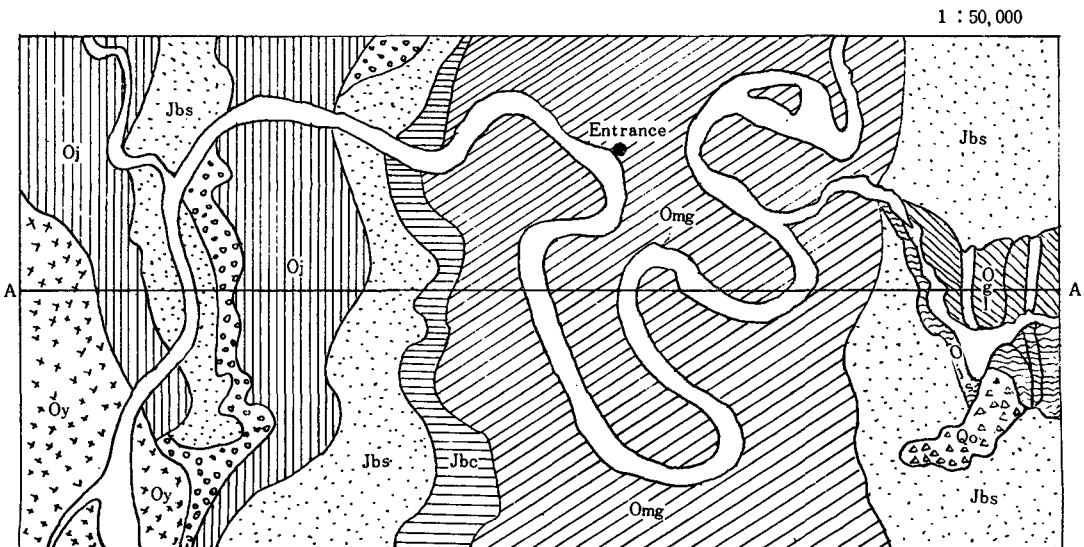
VI. 白龍窟과 附近一帶의 地質

白龍窟을 胚胎한 Limestone은 Palaeozoic groupe 下部의 Ordovician system에 屬하는 Limestone으로, 우리나라 地質系統上으로는 朝鮮系의 大石灰岩統에 屬하는 莫洞石灰岩層이다.

이 Limestone은 岩質上 洞窟發達이 좋으며, 分布面積이 廣大하여 매우 좋은 自然的 與件을 附與하고 있다.

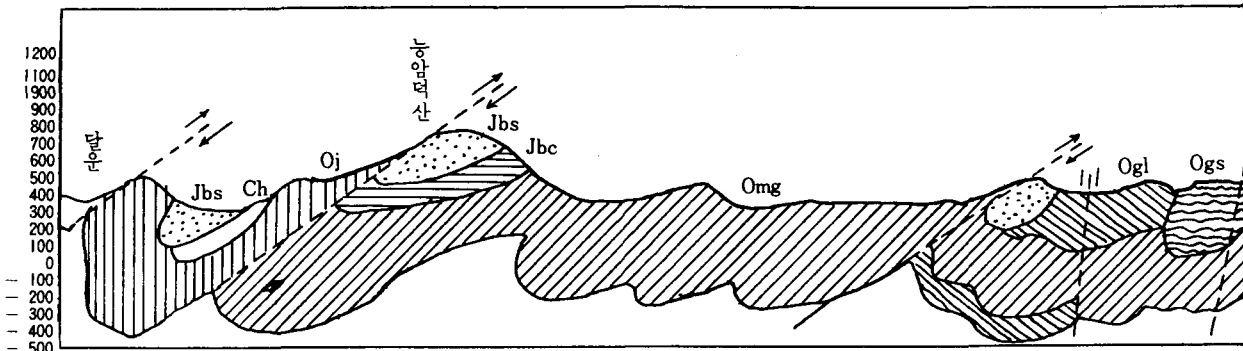
아래 地質圖과 地質断面圖는 白龍窟의 規模와 發達方向을 理解하는데 도움을 준다.

白龍窟一帶의 地表地質分布圖



白龍窟一帶의 地質断面圖 A와 A' 地点

1 : 50,000

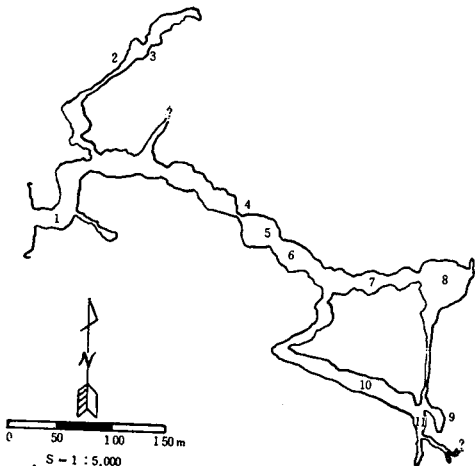


地質圖上의 記号内容

- Jbs. 大同系盤松層 (Jurassic)
- Ch. 平安系紅店統 Up. Carbon
- Oj. 朝鮮系旌善石灰岩 (Ordovician)
- Jbc. 大同系盤松礫岩層 (Jurassic)

- Omg. 朝鮮系莫洞石灰岩 (Ordovician)
- Ogl. 時代未詳古城石灰岩 (Age Unknown)
- Ogs. 時代未詳古城세일층 (Age Unknown)
- Oo. 第四紀洪積也河成層 (Quaternary)

Ⅶ. 白龍窟의 主된 洞窟堆積物



- ① Ruins
- ② Fossil (Aminal)
- ③ Travertine terrace
- ④ Key hole
- ⑤ Saint Patron
- ⑥ Shield galleries
- ⑦ Chinese wall
- ⑧ Starm galleries
- ⑨ Upper room
- ⑩ Pit fall
- ⑪ Flint

白龍窟의 Speleothem은 多採로운 便이나 特徴적인 것은 Cave Shield이다. 이밖에도 B窟의 Travertine terrace 群도 매우 아름다우며 特色있는 學術景觀이라 하겠다. 이제 白龍窟이 지니고 있는 二次生成物의 하나 하나를 들어 詳論하기로 한다.

(1) Dripstone

Speleothem의 代表的인 類型으로 Stalactite, Stalagmite, Column 등이 여기에 屬하며 Lime Stone Cavern의 代表的인 景觀들을 形成한다.

a) Stalactite

Speleothem의 代名詞로도 使用되는 Stalactite는 洞窟의 代表的 Speleothem이며 Stalagmite와 더불어 上下對稱的으로 한雙을 이루는 境遇가 많다. 다만 Stalactite는 天井에서 下降的으로 成長하며 Stalactite의 中央에 點滴水의 通路로되는 中央導管을 가지고 있으며, 이 導管을 통한 點滴水의 流通事情如何에 따라 Stalactite의 形態가 決定지어지는 것이다.

b) Stalagmite

Stalactite끝에서 落下한 點滴水에 依해 洞穴에서 上向的으로 成長하는 dripstone이며 Stalactite에 비해 一般的으로 그 組織이 緻密하며 比重이 크다. 따라서 Stalactite에 있어서와 같이 點滴水의 通路로되는 中央導管이 없는 것으로 Stalactite와 區別된다.

c) Column

Dripstone인 Stalactite는 下向的으로 成長되며 Stalagmite는 上向的으로 成長하여 必然的으로 連結되어 하나의 結合된 石柱를

形成함으로써 點滴水의 使命은 끝나게 된다. 따라서 이때부터 Speleothem의 過度한 成長은 시작되며 洞窟空間의 縮少를 前提로 한 石林으로 進化하게 된다. (사진 1 參照)

d) Cave Shield

Cave Shield는 洞窟內의 奇妙한 堆積物이며, 堆積環境에 따라 Parachute와 같이도 보이며 때로는 북과 같은 面을 드러내어 때리면 북소리도 난다. 이와 같은 Cave Shield의 形成機構에 對해서는 아직까지도 定說이 없으며, Bed Rack의 天井 傾斜面에 附着成長하였던 Stalactite의 基部에서 Bed Rock의 溶蝕進展에 따라 생겼다는 Lange와 Mowat (1953)의 理論과, Davis와 Moore (1965)의 管理面에 따른 生成理論이 있다. Shield는 그 形態에 따라 Palettes, Tom tom, Drum, Parachute의 異名도 가지고 있다. (사진 2. 參照)

e) Pseudo Stalagmite

白龍窟堆積物中 最大傑作에 屬하는 것은, 過去地震時의 落盤으로 天井의 Stalactite가 直立하여 Stalagmite와 함께 天井을 向하고 있으며 우리들의 視覺을 混亂케 하는 점이라 하겠다. A窟終端의 great galleries에 이르면 地盤의 沈下現象으로 45度 傾斜의 Stalagmite와 함께 엄청난 量의 Speleothem의 落盤集積을 볼 수 있는데, 大部分이 甚한 Vermiculation現象으로 그 形体만이 保存하고 있는 實情으로 이 地域은 特別保存의 必要性이 切實히 要望된다. (사진 3. 參照)

f) Candle Shape Stalagmite

A窟에서 C窟로 通하는 좁은 回廊地域을 Cat Wark로 貫通하여 別宮에 이르는 좁고 낮은 적은 Horizontal galleries에 이르면 模式的인 Candle Shape Stalagmites가 發達하여 있는데 그 模樣이 매우 精巧하다. (사진 8. 參照)

h) Turinp Shaped Stalactites

白龍窟에는 典型的인 turnip shaped stalactites가 많아, 손쉽게 그 形成機構에 對한 觀察이 可能하다. 다시 말하여 紡錘型 鍾乳石은 點滴水의 通路인 中央導管의 閉塞로 Stalactite의 末端에서 點滴되지 않고 全体

表面에서 滲出되어 Stalactite의 上部보다 下部가 異狀發達함으로써 生成되어지는 것이다.

i) Erratic Stalactite

Limestone에 不溶性物質이 많이 Speleothem의 中央通路를 閉塞할 때 여러가지 畸形이 나타나며 一般的으로 重力의 方向에서 어긋나는 境遇가 많다(사진 4. 參照).

(2) Flowstone

流石은 洞窟壁面에서 滲出되는 滲透水에 溶存된 Carbonate Calcium이 壁面을 따라 大規模的으로 發達하는 것에 對한 總稱의 用語이며 다음과 같은 몇 가지 部類가 이에 屬한다(사진 5. 參照)

a) Baconlike Sheet

마치 肉庫에 걸린 Bacon과 같이 비계와 삼겹살이 層을 이루는듯 Baconlike Sheet는 布狀으로 層을 이루어 堆積하는 데서 부쳐진 이름이며 얇은 薄層으로 되어 있어 두들기면 아름다운 音色을 나타내어 單調로운 音樂도 演奏할 수 있다(사진 6. 參照)

b) Draperies

Bacon의 末端部에 Lace와 같이 精巧하게 생긴 주름인데 白龍窟回廊地域에서 發見된다. 우리나라의 代表的發達은 寧越의 高氏窟이 있으나 無謀한 開發로 지금은 그 形蹟조차도 찾아볼길 없다(사진 6. 參照)

c) Chinese wall like Bacon

白龍窟代表景觀中의 하나이며 傑作으로 여겨지는 것은 天井에 發達한 Chinese wall이라 하겠다. 元來 Chinese wall의 用語는 屈曲이 甚한 Rimstone에 對하여 붙여진 이름으로 白龍窟의 Bacon은 異質的이기는 하나 Chinese wall로 取扱됨이 妥當하다고 생각된다(사진 7. 參照)

(3) Travertine deposits

Carbonate Calcium을 溶存한 Cave stream이 河床傾斜가 큰 急流部에서 물의 甚한 蒸發로 Carbonate Calcium을 沈積하여 河床을 가로막아 그 上流部에 Rimpool을 만든다. 이때 河床을 가로막은 碎屑性 堆積物인 Natural Levee를 Rimstone이라고 하며 Rimstone이 여러 段을 이룰 때 Travertine

terrace라 한다.

우리나라의 代表的 發達은 三陟郡 近德面 草堂窟의 것이나 그 精巧度와 構造面에서 白龍窟의 Travertine terrace도 一品이다.

(4) Accretionary deposits

洞窟內的 Accretionary deposits 中에는 Pisolite, Cave pearl, Oolite, Axolite, Tubular 等 여러가지 類型이 있다. B窟의 Travertine terrace 地域에 Pisolite가 發達되며 C窟과 A窟의 回廊인 別宮의 Travertine terrace에 Irregular Cave Pearl 이 發達하였을 뿐 大體的으로 Accretionary deposits는 微弱하다.

(5) Other Cave deposits

a) Helictites

白龍窟에는 一般的으로 Helictites의 發達이 微弱하다. A窟의 守護神廣場과 C窟의 回廊地域과 別宮一帶에 Helictites現象이 있는데, 그 形狀이 매우 精巧하나 Heligmite는 全然發見되지 않고 있다(사진 9. 參照)

b) Botryoide

A窟 終端部の Rimpool과 B窟의 Travertine Terrace 地域에 發達되어 있으나 稀貴한 部類에 屬한다.

c) Blister

洞窟內에 濕度가 높으며 짙은 안개와 같은 狀態下에선 洞窟空氣中の 水分子가 Stalactite 表面에 凝結하여 Blister를 만드는 데 細心하게 觀察하지 않으면 그냥 지나치기 쉬운 堆積物이다(사진 11. 參照)

d) Moon milk

白龍窟의 moon milk 現象은 別宮地域에서 集中的으로 나타나고 있다. 이와같은 Hydromagnestie($3MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$)는 一種의 黃酸 Bacteria로서 Macromonas bipunctata에 依한 Limestone乃至 speleothem의 分解現象으로 中世 Europe 醫師들의 憧憬의 靈藥으로 外傷治療劑에 使用되어 왔다.

(6) Cave mineral

白龍窟의 Cave mineral은 Aragonite, Calcite, Hydromagnesite와 같은 Carbonate mineral과 Sulfate mineral에 屬하는 gypsum($CaSO_4$), Brushite($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$), Hydroxyapatite($Ca_5(PO_4)_3(OH)$), Saltpeter(K

NO_3)과 Silicates mineral인 Quartz(SiO_2)가 別宮에서 東方으로 通하는 狹長한 通路에서 集中的으로 發見되고 있어 洞窟鑛物學上 매우 重要的 意義를 지니고 있다.

(7) Other Cave Phenomena

a) Pit fall

Pit fall 現象은 洞窟의 普遍的 現象이기는 하나 白龍窟의 Pit fall은 特異성을 지니고 있으며 그 危險度가 매우 크다. 그 理由로서는 漢江의 meander neck에 發達한 關係로 C窟下部에 Lost River가 있어 C窟 洞床에 3個所의 마치 Karst Region의 Sink-hole과 같은 形態의 Pit fall이 發達되어 있어 探查上 警戒을 必要로 하고 있다.

b) Tilting Stalagmites

白龍窟景觀中 特記할 바는 A窟 終端部の Great galleries 地域에 發達한 Speleothem의 Tilting으로 이는 Lost River에 依한 洞床下部의 掘拭에 따른 地盤의 沈下現象에 起因된 것으로, 이地域의 Stalagmites는 60度程度 기울어져 異色的인 景觀을 보여주고 있다. (사진 12. 參照)

c) Keyhole의 Air Current

洞窟通路上的 좁은 구멍을 西洋 사람들은 흔히 Keyhole이라고 하나, 우리나라에선 쥐구멍으로 通用된다. 이와 같은 地域을 通過할 때에는 Cat walk를 하는데 一般的으로 強力한 氣流가 있다. 白龍窟이 바로 極甚한 破壞에서 保護된 이 것도 쥐구멍과 氣流의 強力한 흐름으로 現代的인 照明具가 發達되기 以前의 原始的인 照明으로서 더 以上の 前進이 不可로 認識되어 왔기 때문이다.

VII. 結 語

以上에서 白龍窟의 發見과 探險에 關한 歷史와 生成理論 및 主된 Speleothem에 對해 洞窟地形學의 으로 考察하였다. 앞으로 洞窟에 關心있는 많은 分들과 特히 少壯學徒들의 積極的인 參與와 뜻있는 研究團體의 組織 等 活潑한 活動으로 Cave Science의 學問的地位를 定立하며 人類의 生活向上에 寄與할 것을 期待하면서 이 글이 多少나마 洞窟의 科學的 認識에 도움이 된다면 筆者는 더없는 榮光으로 생각하겠다.