

忠北의 Karst 地形

康 勝 三

目 次

I. 序 論	IV. 忠北 Karst 地形의 分布와 特性
II. Karst 地形의 生成過程과 分布地域	V. 忠北 洞窟의 分布와 特性
III. 忠北 Karst 地形의 生成	VI. 結 論

I. 序 論

最近에 와서 石灰岩 地形에 對한 調查研究는 活發히 進行되고 있다. 特히 石灰洞窟을 中心으로 하여 觀光 學術面에서 그 活動 方向이 進行되고 있으나 이와같은 洞窟의 形成도 石灰岩地形의 發達과 關聯하여 그 形成이 科明되어야 하고 洞窟의 形成과 地下水面과의 關係 鍾乳洞 形成의 時間的 길이, 節理, 斷層 등이 洞窟形態와의 關係도 綜合的인 石灰岩地形을 研究함으로써 地形學的, 地質學的 諸問題가 解決되리라 생각된다.

앞으로 石灰岩地形에 對한 研究는 石灰岩 地形 및 石灰洞窟의 開發로 綜合的인 學術調查가 要望된다.

世界 陸地 面積의 1/5 이 堆積岩인 石灰으로 덮혀 있고 그 面積이 2,900萬km² 以上에 이르고 있으며 韓國의 경우 全國 埋藏量은 3 백40억 Mt에 이르러 忠北의 비중은 4.5%로 알려져 있다.

特히 本 研究에서의 調查 地域인 忠北 地域은 石灰岩 地形이 우리나라에서 江原道와 더불어 2大分布 地域을 이루고 있다.

最近에 그 開發과 利用이 顯著하고 石灰岩을 利用한 Cement原料, 化學 工業 原料, 製鐵, 熔融劑로 利用하는 등 忠北 產業의 主軸을 이루고 있다. 이와같은 石灰岩 地形의 分布와 더불어 石灰洞窟도 많이 分布하고 있어 丹陽 高수리 동굴, 永春 남굴, 報恩 청석굴등이 觀光地로서 各광을 받고 있다.

그래서 忠北 地域에 있어서의 石灰岩의 分布 地域과 그 地形의 特性을 中心으로 하여 記述하고 忠北에 散在되어 있는 石灰洞窟의 分布 및 特性에 대해서도 몇 차례의 踏査를 土臺로 概略

調査한 것을 報告코저 한다.

II. Karst 地形의 生成過程과 分布地域

Karst地形이란¹⁾ 石灰岩 地形에 發達하는 特殊 地形으로 Sinkhole이나 Uvala, Polje, Natural bridge 등을 비롯하여 石灰洞窟이 分布하는 地域으로 石灰岩은 $CaCO_3$ 으로 되어 있어서 機械的 侵蝕에는 그 抵抗이 強하나 CO_2 가 溶解된 雨水에는 容易하게 溶解하는 性質을 가지고 있어 溶蝕이 強하기 때문에 Sinkhole이나 洞窟이 發達한다.

이와같은 石灰岩 地形은 디나르 알프스 北部 Karst臺地에 代表的으로 發達하고 있기 때문에 Karst地形이라 하고 溶蝕 作用을 Karst作用 즉 Karsting이라고 한다. 山岳 地域의 流水에 의한 侵蝕이 強하기 때문에 溶蝕 地形의 發達이 적고 臺地는 流水가 緩流로 侵蝕이 적고 溶蝕하면서 地下에 侵透한다. 그러므로 Karst地域은 어디라도 存在하나 特히 臺地狀의 地形에 그 發達이 顯著하다.

溶蝕은 特히 高温인 경우에 溶蝕 作用이 強하기 때문에 물의 量과 溫度가 크게 作用하며 熱帶 地方에 있어서는 高温 多雨로 石灰岩이 露出되고 積土는 流出되어 殘存하지 않으며 雨量이 많고 地下水가 急速히 廣大하기 때문에 地表面이 急速히 崩壞되어 殘存한 것은 塔 Karst, 圓頂 Karst 등이 凸地形을 形成하며 그 周邊을 侵蝕 基準面으로 老年期에 相當한다. 溫帶地方에 있어서는 氣候差로 因하여 高温 多雨이기 때문에 熱帶 地方에 比하여 서서히 溶蝕 作用이 行하여 積으로 凹型的 溶蝕 地形이 保存되어 Sinkhole (doline), Uvala 등이 形成한다. 凹地形이라도 地形發達時間이 긴 老年期 地形 경우나 石灰層이 薄層인 경우에는 凸地形이 存在하며 反對로 熱帶 地方 경우라도 雨量이 적고 地下水 發達이 적은 곳은 凹地形 그대로 남아 있다.

우리들이 表面 地形에 있어서 그 形成 原因은 表面水와 地下水에 의하여 이루어진다고 생각하고 있으나 石灰岩 地形 경우에는 오히려 侵蝕보다도 溶蝕이 強하다고 測定되고 있다. Sinkhole이나 Uvala 혹은 洞窟에 있어서 溶蝕으로 인한 大破壞를 記錄하고 있다.

그 溶解度는 地下水 속에 있는 CO_2 의 蓄積量에 依하여 그 溶解度를 計算 할 수 있는데 北部 키테키 경우, 降水量에 依하여 地下水와 더불어 66년에 1 Cm의 石灰岩層이 溶解할 수 있는 能力이 있다고 測定되고 있다. 이와 같은 可能性은 아메리카에 있어서 斜面 移動, 面狀 侵蝕, 河川 侵蝕에 依한 平均 侵蝕 減少量 보다도 더욱 큰 것이다.²⁾ 그외의 Harrasswitz氏에 依하여서도 25°C의 경우 1ℓ의 물에 14mg의 $CaCO_3$ 가 녹아 이것은 年雨量 1,000mm 場所에서 10年間に 1 m³의 石灰岩에서 140g의 $CaCO_3$ 가 녹은 것이며 Schlosing氏에 依하면 8.7°C의 경우 1ℓ의 물에 10mg

1) Karst 地形은 石灰岩이 雨水나 地下水에 依하여 溶蝕되어 Sinkhole, Uvala, 石灰 洞窟 등의 特殊한 地形이 생기는데 유고 아트리아 海岸 沿岸이 Karst 地方에 代表的으로 發達하고 있으므로 이 名稱이 使用되고 있으나 石灰岩이 露出되어 쓸모없는 砂漠이라는 뜻이다.

2) Longwell, Karst topography, physical geology (1969.) P. P 248~250.

의 CaCO_3 가 녹고 16°C 의 경우에는 13.1mg, 25°C 의 경우 14.3mg이 녹는 결과가 나와 물의 량과 高温인 경우에 溶蝕 速度를 支配한다는 것이 判明되었다.³⁾ 이와같이 溶蝕 速度는 高温인 경우에 溶蝕 作用이 強하여 물의 량과 溫度가 溶蝕을 左右한다고 볼 수 있다.

이와같은 溶蝕에 依한 溶蝕地形이 存在하는 石灰岩의 分布 地域은 尤고의 아트리아海岸, 中國의 화남地方, 타이, 버어마, 월남, 라오스, 말레이저아, 日本의 야마구찌현, 히로시마현, 후쿠오카현, 프랑스의 남프랑스 고수地方, 스페인의 안타르지아地方, 美國의 멕시코 周邊, 후로리다 반도, 펜실바니아, 메릴랜드, 버지니아, 켄터키, 미주리, 알칸사스, 테네시, 南인디애나 등을 비롯하여 멕시코의 유카탄 반도, 자메이카, 北프에토리코, 뉴기니아 中部, 西南東 오스트레일리아 等地에 分布한다.⁴⁾

石灰岩 地形에 나타나는 代表的인 地形을 보면 熱帶 地方인 경우 高温 多雨 地域에 나타나는 圓錐 Karst로서 塔 Karst와 圓頂 Karst가 있다. 塔 Karst는 높이가 500m程度의 比高가 큰 塔 모양의 경우로 월남, 중국, 자바等地에 分布하고 圓頂 Karst는 높이가 50m~70m인 比高가 낮은 경우로 쿠바, 타이, 버어마, 뉴기니아, 자메이카, 프에토리코, 멕시코等地에 分布한다.

溫帶 地方인 경우에는 熱帶에 比하여 溫度나 降雨가 많지 않아 溫帶의 氣溫과 降雨를 維持하는 氣候로 Sinkhole, Uvala, Polje 등이 있다. Sinkhole은 溶蝕 및 地下의 空洞 즉 鍾乳洞의 發達에 依한 上部의 陷沒로 形成하는 경우도 있으나 大部分은 流水에 依한 活動으로 節理를 따라 溶蝕되어 생긴다. 큰 것은 길이가 425feet에 달하는 것도 있으나 제일 적은 것은 直徑 8~9m, 깊이가 0.5m인 것도 存在한다.

美國의 맘모스 洞窟 近郊에는 5평방 Mile에 걸쳐 Sinkhole이 存在하고 있으며 인디애나州에는 1km^2 에 1,022개의 Sinkhole이 存在하고 日本에 있어서는 아끼요시에 1km^2 에 18개~68개의 Sinkhole이 存在하고 있다. 世界에서 第一 큰 Sinkhole (doline)은 美國 센트랄알라바마에 있는 길이 455feet, 넓이 350feet, 깊이 150feet로 알려져 있다.⁵⁾

Uvala는 Sinkhole이 廣大하여 地下水面에 到達하는 底面이 形成되고 Sinkhole이 廣大하여 軸方向으로 Sinkhole이 延長되어 長軸을 이루며 Uvala 밑은 同一 高度가 아니고 高低가 存在하며 吸入穴이 存在하나 被覆되어 不明의 경우가 많다. 이와같은 Uvala는 美國 맘모스 洞窟 附近 인디애나州, 센트랄알라바마, 日本의 아끼요시데, 제석데, 히라오데에 分布한다.

Polje는 Sinkhole, Uvala가 多數 連結된 경우로 Polje 밑은 그 地域이 侵蝕 基準面과 一致하는 경우가 많고 河川과 湖水가 發達하여 平坦하다 Polje의 形成은 溶蝕 作用, 機械的侵蝕 斷層, 節理 作用이 Polje의 形成에 作用하는 것으로 보인다. 유고 더나르알프스의 中生代의 카르

3) 西村嘉助, "Karst 地形", 自然地理學 (II) (1973.) P P 218~228.

4) Gabler, *Karst or limestone landscapes, introduction to physical geography* (1975.) P.P 661~667.

5) Ibid, P.662.

스트 臺地에⁶ 많은 Polje가 沈降하여 달마차아 海岸을 形成하고 있으며 Polje의 크기는 半徑 數 km에서 10km에 達하는 것도 있다.⁸⁾

Cockpit는 세계 以上の Sinkhole이 發達한 경우 壁의 後退로 피라밋상이 突起한 丘陵이며 그린트 크리크는 石灰岩 地形에 節理가 크게된 우열을 말한다. 그의 石灰岩 地形에 發達하는 數拾m에서 數百m의 石灰岩 岩石丘가 存在하고 石灰岩 地形에 發達하는 土壤으로 Terra rossa 가 있다.

Ⅲ. 忠北 Karst 地形의 生成

忠北 石灰岩은 단양군, 제천군을 中心으로 朝鮮系의 大石灰岩統에 부존되어 있다. 大部分이 古生代 石灰岩統에 屬하는 地質層에 發達하고 있어 대체로 構造 地質이 石灰岩 生成 年代는 4 ~ 5 億年前으로 알려져 있다. 大部分이 石灰岩 地形 및 洞窟에 있어서 鍾乳石과 石筍等の 地形 景觀이 豊富하여 洞窟의 形成 年代는 대략 10 萬年前으로(新生代 第4 紀 100~2 萬) 推定되고 있다.⁹⁾

이 石灰岩은 CaCO_3 로 되어 있는 堆積岩인데 一般的으로 生物 遺骸로 된 有機 石灰岩과 물에 溶解된 CaCO_3 의 沈澱으로 된 化學的 石灰岩 및 이것이 地殼 變動으로 變質한 大理石으로 되어 있어 地質 時代로 볼 때 캄브리아(6 億~5 億사이), 오르도비시안기(5 億~4 億 4,000 萬年 사이) 時代인 조선계의 양덕統, 大石灰岩統에 해당한다(6 億~4 億 4000 萬年 사이).

忠北의 石灰岩의 特徵은 再結晶 以前의 石灰岩으로 一般교결질 石灰岩이고 微粒, 細粒, 中粒으로 되어 있어서 灰黑色을 띠고 있고 黃鐵鑛, 磁鐵鑛, 石英 모래, 泥等の 不純物이 包含되어 있다. 그리고 結晶 石灰岩으로써 문의, 가덕, 부흥리 方向과 그 外 영동군의 학산면, 용산면, 忠州의 용탄리, 옥천군의 문암리, 증원군의 향산리, 탄용리 附近의 石灰質 구회암은 時代 未詳이다.

石灰岩의 接觸層은 옥천계의 變性 堆積岩과 화강암의 貫입 時期를 中生代의 地殼 變動時期에 石灰岩을 貫입 接觸하였다고 보인다. 그러므로 단양, 제천 地區의 石灰岩은 再結晶 作用을 받지 않은 교결질 石灰岩이나 그 外 地域의 石灰岩 영동, 충주, 증원군의 石灰岩은 中生代의 花崗岩의 接觸 作用으로 因하여 再結晶을 받은 結晶質 石灰岩으로 分布하고 있다.

6) 이 地域의 地形은 西側이 急斜面이고 河川이 짧으며 東은 緩斜面이고 河川이 길며 中生代의 Karst 臺地로 河川은 石灰岩 地域을 판류하고 洞窟水를 수반하는 말무천적 河川이 많고 低溫으로 溫度 變化가 적은 河川이며 氣候는 雨量이 800m 以下로 겨울에 集中하고 溫和한 겨울이며 여름은 乾燥하고 더우며 긴 여름이다.

7) Dalmatian type coast ; 디나르 알프스 山脈에 平行하여 많은 Polje가 海岸線에 平行하여 沈降해서 灣 島, 半島를 形成하고 있는 地形을 말한다.

8) Trewatha, *effects of solution physical element of geogorphy* (1967.) P.P 280~283

9) 홍시환, "우리나라 洞窟의 特色" 지리학회보, 13호, (1975.) P. 10

石灰岩의 색깔은 교결질 石灰岩인 경우 灰色 黑色, 灰黑色이고 結晶質石灰岩인 경우 白色, 褐色, 淡綠色을 나타내고 있다.¹⁰⁾

石灰岩의 分布 地域을 보면, 단양군에는 대강면, 가곡면, 영춘면, 적성면, 매포면, 어상촌면, 제천군에는 제천읍, 가덕면, 송학면, 문의면, 忠州는 용탄리, 증원군에는 살미면, 이유면, 주덕면, 옥천군에는 군북면, 영동군에는 학산면, 용산면, 청원군에는 낭성면, 괴산군에는 청안면 等地에 分布하고 있어서 石灰岩이 15億M/T이나 埋藏되고 있어 Cement, 石灰, 大理石 石材, 化学原料 등으로 使用되고 있다.

IV. 忠北 Karst地形의 分布와 特性

忠北에 있어서 石灰岩 地形이 發達한 곳은 단양군에는 매포면, 도담리, 금천리, 고양리, 가평리 상시리, 평동, 갈고개, 안동리 못골, 가곡면에 못밭 一帶, 하괴리를 비롯하여 제천군의 청풍면, 연곡리, 북진리, 교리, 연논리, 금성면의 성내리, 보은군에는 문의면, 구룡리 等地에 Sinkhole Uvala, Natural bridge 등의 溶蝕 地形이 發達하고 있다.¹¹⁾

Sinkhole 과 Uvala 가 發達되고 있는 곳은 1/50,000 단양 도폭인 경우 14개가 存在하여 그 分布 地域은 매포면의 도담리 상진리, 적성면의 솔고개 끝은터에 分布하고 있다. 영월도 폭 忠北 附近에는 五個가 分布하여 그 分布 地域은 제천군 송학면 장곡리이다. 제천도 폭에는 13個가 存在하여 그 分布 地域은 제천군 청풍면 물대리, 연곡리, 북진리, 교리 금성면의 성내리이다. 영춘 도폭에는 124개가 分布하여 그 分布 地域은 단양군 매포면의 가평리, 상시리, 고양리, 금천리, 하시리, 평동, 갈고개, 새마을, 용수동, 어상촌면의 우두리, 삼화동, 영춘면의 비마루, 각골, 하리, 적성면의 어기리, 배다루, 가곡면의 지전리 금골 벼덕이, 제천군의 금성면 송이실, 제천읍의 금산리이다. 보은 도폭에는 2개가 分布하여 그 分布 地域은 보은군 문의면 구룡리이다. 황강리 도폭 충북 附近에는 두개가 分布하여 그 分布 地域은 제천군 청풍면 신리, 도화리이고 옥동 도폭 忠北 附近에는 8개가 分布하여 단양군 영춘면 용진리 등대리이다.

그리고 Natural bridge가 發達하고 있는 곳은 단양군 가곡면 지전리에 發達하고 있다. 이 漢江邊에 面한 天然橋(Natural bridge)는 커다란 洞窟이 있는 곳에 천정이 무너져 깊은 Sinkhole이 생기고 天然橋가 생긴다.¹²⁾ 혹은 山頂部의 Sinkhole의 陷落으로 天然橋가 생긴다고도 알려져 있다.

10) 朴宰用, 南弼鉉, 李在善, “忠北 地域의 石灰岩의 부존 상태와 그 性質” 淸州大學 論文集, 第7輯, (1973.) P.P 7~9

11) 1/50,000 地形圖

12) Trewalha, op. cit., P.283

Doline, Uvala 등의 溶蝕 地形이 잘 發達되고 있는 곳은 台地狀으로 단양군 매포면 附近에도 200 m 以上の 台地上에 Sinkhole, Uvala 등이 發達되어 있고 영춘면 하리의 경우에도 200~300m 上的 台地에 發達하고 있으며 청풍면 경우에도 150~200m 上的 台地이고 보은군 문의면 굴용리에도 200 m 的 台地上에 溶蝕 地形이 發達되어 있다.

1/50,000 地圖를 使用하여 Doline, Uvala 등의 分布를 보면 總分布 地域은 7 개의 도폭 즉 단양 도폭, 영월 도폭, 제천 도폭, 영춘 도폭, 보은 도폭, 황간리 도폭, 옥동 도폭이 해당하나 그중에서 제일 많이 發達되고 있는 곳은 영춘 도폭으로 124 個의 Sinkhole, Uvala 등이 發達되어 있고 그 다음이 단양도폭으로 14 個 그 다음 제천 도폭으로 13 個, 그 다음이 옥동 도폭으로 8 個, 그 다음이 영월 도폭으로 5 個, 그 다음이 보은 도폭과 황간리 도폭에 각각 二 個의 分布를 보이고 있다. 100 km² 당 Sinkhole, Uvala 등의 數를 보면 제일 많이 分布하고 있는 곳이 가곡면 못밭, 도담일대 (57) 이고 특히 이곳은 台地 斜面을 따라 溶蝕 作用으로 階段狀의 段丘를 形成하면서 數段의 Sinkhole이 形成되고 있는 것이 特徵이다. 그 다음이 매포면 가평리 (48) 어상천면의 삼화동, 무두리 (26), 영춘면의 하리 용진리 (20) 적성면 솔고개 (13), 청룡면 묵진리 (13) 順이다.

忠北의 石灰岩도 선 캄브리기에서 오르도비스기에 이르는 동안 褶曲 運動과 같은 造山의 性格의 運動과 함께 많은 造陸의 運動이 繼續되었으나 정선제, 강원제에서 보는 바와 같이 두꺼운 石灰岩의 堆積은 隆起와 沈降에 있어서 沈降이 더 많았음을 보여 주고있고 이것이 隆起하여 오늘과 같은 石灰岩 台地를 形成하고 있는 것이다.¹⁴⁾ 原表面이 台地狀으로 덮혀 있고 Sinkhole, Uvala 등이 廣大하게 殘存하고 있으므로^{15) 16) 17)} 忠北의 石灰岩 地形은 幼年期에 해당한다.¹⁸⁾ 그 形態는 圓形, 橢圓形으로 一定하지 않고 깊이는 1m~3m, 直径도 5m~10m 程度이다.

V. 忠北 洞窟의 分布와 特性

1. 生成 原因과 分布

忠北의 石灰岩은 古生代 大石灰岩統으로 (6 억~4 억 4,000 만년 사이) 단양, 곡산, 영월, 삼척, 정선등이 이에 해당하고 신막은 상원제(原生代)에 속하며 울진, 원주는 始生代 變成 堆積岩層에 협재된 石灰岩層이다. 英國에서는 페닌, 남웨일에 있는 古生代 石灰紀 石炭岩에서 洞窟이 發見되고 있고 日本에서도 古生代末의 石灰岩層에서 洞窟이 發見되고 있으나 洞窟의 形成은 第四紀 100~2 萬) 中期 以後에 形成된 것으로 보인다.

13) 정장호, 한국의 Karst 地形, (1996.) P.P 213~219.

14) 손치무, "韓國의 地殼 變動에 觀하여", 지질학회지, 제 5 권 제 3 호 (1969.) P.P 167~210.

15) Kendall, *the work of solution, physical geography* (1967.) P.P 130~133.

16) Strahler, *limestone caverns physical geography*, (1970.) P.P 392~394.

17) 邊濶, "Karst 地形", 地形學 (1975.) P.P 20~205.

18) 幼年期로 Sinkhole, Uvala가 形成되어 原表面이 臺地狀이나 카렌 펠트로 되어 있고 Terra rossa로 被覆되어 原表面이 廣大하게 殘存하는 경우이고 長年期는 Cockpit가 形成되고 原表面이 喪失된 경우이며 老年期는 全表面이 地下水面에 가까운 경우이므로 部分的으로는 原表面이 喪失되어 Cockpit가 存在하는 地域도 있으나 一般적으로 幼年期에 해당하고 部分的으로 壯年期에 해당한다고 말할 수 있다.

石灰 洞窟은 다른 岩石의 洞窟보다 크고 길이도 길고 房도 크지만 石灰 洞窟의 成因은 海底 動植物의 有機體가 壓縮 膠着되어 굳은 岩石이 堆積岩이 되고 이것이 隆起하여 地下水의 溶解로 CaCO_3 을 溶解시켜 洞窟을 生成시킨다. 즉 H_2CO_3 은 植物의 腐弊(腐植物의 分解), 動物의 呼吸 結果로 생긴 CO_2 가 물과 化合으로 生成된다. 大氣에도 0.03%의 CO_2 를 形成하는 탄소는 있으나 弱하여 效力이 없고 腐植土의 分解가 CO_2 를 形成하여 물과 化合하여 H_2CO_3 를 이루고 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ 는 다음과 같은 反應으로 石灰岩을 溶解시킨다. $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{+2} + 2\text{HCO}_3^{-1}$ 이와 같이 溶蝕 作用을 하는 石灰岩의 形成은 美國 맘모스 洞窟인 경우 3億2千5百萬年前에 石灰岩이 形成되었고 뉴멕시코 칼스바트의 洞窟인 경우 2億5千萬年前에 石灰岩이 形成되었으나¹⁹⁾ 洞窟의 形成時期는 韓國, 日本도 마찬가지로 第四紀에 生成된 것으로 보인다.

洞窟의 原因에 對한 學說은 여러가지로 擧論되고 있으나 地表에서 河川이 地下로 흘러 溶蝕되었다는 說과 節理를 따라 地下水가 石灰岩을 溶蝕하여 發達하였다는 說이 優勢하다. 地下水에 依한 溶蝕說은 오스트리아의 쿠른 美國의 데이비스가 이 이론을 提唱하였는데 그 理由는 河刻 作用에 依하여 形成된 河川의 流路가 틀리고 洞窟 通路가 網狀이며 河川型과 틀리다. 그렇기 때문에 地下水面直下에 있어서 流水에 依하여 形成된다고 主張하였다.²⁰⁾ 洞窟의 通路는 龜裂層理面, 斷層 節理面에 따라 支配하며 通路의 廣大는 포화대에 있어서 地下水의 水平 移動으로 溶蝕이 增大된 것이며 網狀은 地下水面下의 緩流에 依한 洞窟의 形成이다. 洞窟 通路가 水平인 것은 地下水面이 洞窟 形態의 影響으로 石灰岩層이 水平으로 洞窟 通路가 水平이 되나 石灰岩層이 褶曲이나 急傾斜인 경우에도 水平 層理 보다는 水平面에 支配된다.

데이비스氏는 洞窟은 地下水面 直下의 比較的 폭이 좁은 水平面 속에 形成되며 地下水面直下에 洞窟이 形成하되 理由는 CO_2 의 含有量이 높고 地下水面 上部보다 地下水面 直下의 물이 CaCO_3 로 飽和될 때 까지 長時間 石灰岩과 接觸하기 때문이라 주장하고 있다. 그러므로 地下水面 中에서도 深所보다 上部가 溶解力이 強하다. 그러므로 主流路는 地下水面 直下의 水平 部分에 形成하여 流出口에 運搬된다. 地下水面이 얇으나 地表 侵蝕에 依한 洞窟 形成은 洞窟의 形成을 停止시키며 地下水面의 低下는 溶解 作用을 停止 시키고 低位 部分에서 洞窟이 形成한다. 洞窟의 通口는 換氣로 地下水面보다 上部는 溶蝕이 停止된다. CO_2 가 放出되고 물은 방해석으로 飽和되어 溶解過程이 中止되고 그래서 鍾乳石等을 만드는 方解石 沈澱이 開始된다. 그러므로 人間이 洞窟에 들어갈 程度라면 동굴 장식 즉 鍾乳石, 石筍등이 生成하기 始作한다. 물이 地表에서 地中에 侵透하는 한 鍾乳石, 石筍等의 沈澱物은 그 形成이 繼續된다고 說明하고 있다. 그러나 이와같이 地形面의 發達과 關聯하여 形成되는 洞窟이 河岸 段丘의 位置나 洞窟 높이와의 比較 結果로²¹⁾ 그 合致로 보아도 洞窟의 形成과 河川과의 關係는 그 河川이 그 洞窟의 地下水面上에 影響을 미치는 것을 무시할 수 없다.

19) Moore, *the Study of Caves*, (1964.) P. 16.

20) Ibid, P. 23

21) 大久保種弘 鍾乳洞, 第四紀 (1972.) P. P 159~165.

洞窟의 形成은 安定된 時間에 形成되는 것이며 그 時間的인 背景은 1~20,000年 사이에 形成된다.²²⁾

늦게는 河川 側方 侵蝕의 產物이며 水位 變動 및 水量 測定이 可能하다. 洞窟은 地下水系에 依하여 形成되나 地下水系가 새로운 洞窟을 形成하여 흐르게 되면 日流路는 洞窟을 形成하게 된다. 이 洞窟은 溶蝕이 停止되어 主로 崩壞 現象이 일어난다. 그리고 地下 侵透에 依한 鍾乳石, 石筍等의 地形이 形成하기 始作한다. 또한 洞窟은 地下水系의 간선으로 洞窟 밖으로 나오는데 地下水의 排出口는 洞窟의 通口部를 이루고 吸入口가 동철계에 通하는 경우도 있다. 이 通口部는 排水의 河川과 같은 高度에 있고 그 보다 더 高地를 이루는 경우는 河川과 不協和合流로 瀑布를 形成하여 入口에 瀑布가 存在하는 경우도 있다. 旧流路가 洞窟이 되는것은 地下水面이 高位에서 低位로 水量이 減少하는 것이 아니라 侵蝕 進行으로 因하여 比高가 增大하여 形成하는 것이다.²³⁾

洞窟에 있어서의 溫度를 보면 그 附近의 平均 氣溫과 一致하고 同緯도라도 高度에 따라 高地洞窟은 溫度가 낮고 低地는 高溫을 이룬다. 一般的으로 濕氣가 많고 寒冷하며 어둡다. 溫度의 年變化는 1°F以內이고 48feet 深에서 1°F以內이다. 美國 南部 國境 附近의 洞窟의 平均 氣溫을 보면 70°F이고 北部 洞窟의 平均 氣溫을 보면 40°F이고 6,300 feet 高度의 후라이 洞窟은 55°F 11,900feet 高度의 스바니슈洞窟은 36°F로²⁴⁾ 이곳은 海拔 1,000feet에 對하여 3°F의 溫度差를 보이고 있어 洞窟의 溫度는 緯度, 海拔 高度에 따라 決定되고 그의 流水, 氣溫等의 影響을 받는다.

濕度의 경우 洞窟은 水蒸氣로 飽和되어 相對 濕度는 100%이고 洞窟 入口 附近은 濕度가 低下되며 溫度 低下의 경우는 濕度가 上昇되며 溫度 上昇의 경우는 濕度는 減少한다. 여름에 洞窟은 低溫으로 外部는 高溫이기 때문에 濕度는 低下되며 洞窟속까지 濕度 低下를 나타낸다. 겨울은 洞窟이 高溫이고 外部는 低溫으로 濕度 低에서 곧 濕度 高로 轉換되어 洞窟入口까지 濕度가 飽和 狀態가 된다. 바람의 경우 洞窟內에서의 바람은 一定하지 않고 바람의 流入, 流出은 季節에 따라 變化가 심하다.

洞窟의 世界的 分布를 보면 다음과 같다.²⁵⁾

table 1. Limestone caverns

Name	Location	Kilometers
Hölloch Cave	Muotatal Switzerland	85.2
Flint Ridge System	U. S. A	81.4
Eisriesenwelt Cave	Austria	42.0

22) Ibid, P. 163.

23) R. F. Peel, "地形에 미치는 岩石의 影響", (金崎 譯) 自然地理, (1955.) P. P 151~160.

24) Moore, op, cit, p. p 30~32.

25) Thornbury, *Cave lengths, principle of geomorphology*, (1969.) P. P 327~328.

Blue Spring Cave	U. S. A	32.2
Greenbrier Caverns	U. S. A	24.3
Domica Cave	Hungary-Yugoslavia	22.0
Jewel Cave	U. S. A	21.0
Anuil Cave	U. S. A	19.2
Sullivan Cave System	U. S. A	18.5
Dentde crolies System	Isere, France	18.0
Tantalhohle Cave	Austria	16.0
Mammoth Cave System	U. S. A	71.2

위에 列擧한 洞窟 외에도 美国에는 Carlsbad Cave, Luray Cave, Cameron Cave, Wyandotte Cave, 英国에는 피브 洞窟, Deam Cave, 프랑스에는 Groffre Cave, 그리고 베르자 洞窟이 있고 日本에는 안가동, 추방동이 있고 오스트리아에는 아젤스벨그 洞窟이 있고 오스트라리아에는 Jenolan Cave가 있다.

위 洞窟 中에서 世界的으로 第一 規模가 큰 켄터키 맘모스 洞窟은 그 길이가 71.2km이고 넓이가 8,000 mile²이나 되는 廣大한 石灰岩地域에 4백 feet의 두께와 6,000個의 Sinkhole과 함께 100個의 洞窟이 있는 廣大한 石灰岩 地域이다.²⁶⁾

맘모스 洞窟은 5mile²地域으로 덮혀 있으나 充分히 探險되지 않고 있다. 洞窟 通路는 높이가 2feet에서 100feet以上에 이르기까지 여러 種類가 있고 몇개의 河川, 湖水 그리고 瀑布를 包含한다. 뉴-멕시코州的 칼스밧 洞窟은 길이가 48km로 1901년에 發見되었으며 그곳에 存在하는 大石室은 길이가 400m, 넓이가 230m 높이가 100m로 單一 石室으로써는 最大를 이루며 洞窟의 室内面積도 45,000yard²로 一般 蹴球場의 14배에 達하여 그 안에 鍾乳石, 石筍, Curtain 등이 存在하고 800萬의 動物들이 棲息하고 있다.²⁷⁾ 프랑스의 베르자 洞窟은 길이가 3,681feet로 世界에서 第一깊은 洞窟로 알려져 있다.²⁸⁾ 일본에 있어서는 히로시마현 北東의 石灰岩 台地를 흐르고 있는 兩河川 流路에 面하여 河川 沿邊에 30個의 洞窟이 發達하고 있으며 야마구찌현 아끼요시다이 추방洞窟은 길이가 2km이고 천정 높이가 10~40m 洞窟 入口 높이는 26m, 폭은 24m인 이 洞窟은 觀光地로 有名하며 日本에서 最長의 洞窟은 이와대현에 있는 안가동으로 그 길이는 7.5km이다. 韓國에 있어서는 洞窟의 分布는 石灰岩으로 된 天然洞窟이 1,000個 程度로 알려지고 있으나 그 中에서 天然紀念物로 指定된 것은 영월 고씨窟을 비롯하여 5個에 불과하다. 그 重要한 洞窟의 分布를 살펴보면 전라남도에 있어서는 화순군 북면 수리 백아산 중턱에 海拔 500m地點에서 길이 500m의 화순동굴이 있다. 이 洞窟 内部에는 鍾乳石, 石筍이 存在하며 3個의 広場이 있다. 第1 広場은 1m², 第2 広場은 3m², 第3 広場은 10m²로 橢圓形이고 洞窟 内部의 溫度는 4°C~5°C이다.

26) Christ, *Limestone country, physical geography in coloui*, (1969.) P.P 67~68.

27) Ibid, p. 69.

28) Moore, op, cit, p. 33.

다음 江原道에 있어서는 영월 태화산 중턱 영월읍 東南쪽 12km 地点에 길이 3 km(主窟은 1,800 m)의 高氏窟이 있다. 이 窟안에 있는 広場은 直徑이 30m로 4 個所의 瀑布가 存在하고 6個所의 広場이 存在한다. 動物도 棲息하고 있는데 41種으로 알려지고 있다. 그리고 영월에는 용담굴이 있고 25種의 動物이 棲息하고 있으며 全北 益山에는 천동굴(土窟 677m) 강원도 삼척군 대이리에 관음굴(1.21km), 환선굴(4km) 강원도 동군 금덕면에 초당굴(7km), 강원도 동군 소달면에 대이굴, 강원도 삼척의 연지굴, 강원도 정선 화담굴, 강원도 정선의 비룡굴등이 있고 경북 울진에는 土窟길이 472m인 성류굴이 있고 경북 문경에 관산굴 등이 있으며 그외에도 남해도 금산굴, 경기도 박주굴, 강원도에 백넘어굴, 선우굴, 閔三窟等이 알려지고 있으나 자세한 調査는 進行되지 않고 길이 및 構造조차 把握되지 못한 實情이다.

2. 忠北의 洞窟 分布와 特性

忠北에는 石灰岩 地形의 發達로 많은 洞窟이 存在하고 있으나 아직 完全한 調査는 안되어 그 把握이 困難하나 最近에 發見된 洞窟을 보면 소백산 줄기 海拔 200m 地点인 까치산 밑에 단양고수리 洞窟이 있으며 단양에서 영춘 方向으로 12km 地点에 存在한다. 洞窟内部의 溫度는 10°C~15°C로 알려져 있다. 제천군에는 수산면 할미산 개단계 중턱에 (할미산) 동굴이 있으며 단양에서 忠州 쪽으로 12km 地点이다. 그리고 문의 地區에 구룡리 洞窟이 있으며 단양에는 원출굴, 北下窟, 단양곰굴이 있고 영춘에는 남굴, 청원군 미원에는 청석굴 제천군에 점말 석회 동굴, 옥천군에 옥천굴 淸原郡 加德面 노현리에 두루봉洞窟 等이 알려지고 있다.

洞窟 種類에는 사암 농굴, 海蝕洞窟, 熔岩洞窟, 石灰洞窟이 있는데 砂岩洞窟은 바위에 砂岩이 充分히 固結 안된 곳에 形成되며 海蝕 洞窟은 수직이 약한 바위층에서도 波濤가 미치는 下部에 侵蝕하여 形成한다. 熔岩 洞窟은 火山 地域에서 熔岩이 冷却하면 얇은 천정 附近이 崩壞되어 入口가 되고, 위는 冷却하고 下部는 흘러서 空隙이 形成되어 洞窟을 이룬다.

石灰洞窟은 石灰岩 地域에 地下水에 依해 溶蝕으로 因해 생기는 洞窟이다. 이와같이 溶蝕에 依해 생기는 鍾乳洞은 水平이나 傾動 運動 地域에도(最近 500萬年 内の 傾動 地域) 그 洞窟 形態가 水平으로 보아 鍾乳洞은 단명이고 最近 形成되어 洞窟의 發生된 段階에서 천정에 崩壞까지 數百萬年에 不過할 것으로 보인다. 洞窟의 發展 段階를 보면²⁹⁾ 포화대에 있어서 地下水에 依한 節理와 龜裂이 초생적인 廣大가 始作되고 그 다음은 地下水面 直下에 있어서 主流路가 發達되어 河川의 季節의 變動이 洞内の 地下水에 影響을 미치는 높이까지 河川이 下刻하여 때때로 洞窟속에 河川粘土가 運搬되는 時期이며 그 다음은 地下水面이 더욱 低下되어 地表의 下刻作用에 依해서 外界에 門이 열리고 그 結果 洞窟水의 含有量이 低下되어 石灰岩의 溶解가 停止된다. 土壤과 洞窟사이의 통기대에 있어서는 산含有量이 많아 地表의 出入口는 廣大해서 洞窟과 連結되어 洞窟 천정이 崩壞되는 것으로 보이며 수직굴인 경우는 鍾乳洞 形成의 後期에 있어서 地下水面이 低下되어 洞窟을 溶解하던 地下水에 空氣가 들어가면 地表流가 洞窟에 流入되어 늪지를 形成하

29) Ibid, p. p 26~27.

고 堆積物을 남긴다. 그리고 수직굴이 形成된다. 수직굴은 一般的으로 꼭두나 吸入口穴이 中心에 形成된다. 수직굴은 廣大된 龜裂이고 하방이 地下水面까지 물이 흐른다. 이와같이 해서 形成된 洞窟内部에는 또 다시 第二次地形이 形成하기 始作하는데 이것은 土壤中の CO_2 가 土壤中の 물과 結合하여 H_2CO_3 를 形成하고 石灰岩을 溶解 시키면서 洞窟을 向하여 流動한다. 浸透水가 洞窟속의 空氣와 接觸하면 CO_2 는 물에서 빠져나간다. 그래서 H_2CO_3 음료수에서 탄산 Gas가 도망치는 것처럼 空氣에 接觸할 때 方解石의 生成物을 形成한다. 즉 $CaCO_3$ 를 包含한 물이 空氣와 接觸한 경우 蒸發되어 $CaCO_3$ 가 結晶한다. 그래서 鍾乳石, 石筍, 石柱, 유석, Curtain 등이 生成한다. 鍾乳石의 年代 測定은 一般的으로 直徑이 5 mm, 길이 10cm인 鍾乳石인 경우 14年, 直徑이 3 cm, 길이가 50cm인 鍾乳石인 경우 1970年, 直徑이 10cm, 길이가 1 m인 鍾乳石인 경우 55,000 年이 걸린다.³⁰⁾ 鍾乳石의 길이 및 石筍의 높이가 1 Inch 成長하는데 必要한 年數를 調査한 것을 보면 수루파 洞窟(체코)의 경우 鍾乳石은 7年, 石筍은 83年이 걸렸고 인구루보르후洞窟(英國)의 경우 鍾乳石은 146年 石筍은 4年이 걸렸다. 뉴케프洞窟(아일랜드)의 경우는 鍾乳石이 成長하는데 12年이 걸렸고 그랜드洞窟은 石筍 1 Inch 成長하는데 25年이 걸렸다고 報告 되고 있다.³¹⁾ 대략 一般的으로 鍾乳石의 成長率은 1年에 $\frac{1}{100}$ Inch 보다는 크거나 $\frac{1}{10}$ Inch 보다는 작으며 石筍의 成長은 1年에 $\frac{1}{10}$ Inch 以下로 平均 $\frac{1}{100}$ Inch로 알려져 있다.³²⁾ 忠北 고수리 동굴, 남굴, 옥천굴 등의 동굴내에 形成되고 있는 第二次地形의 重要 特徵은 다음과 같다.

◎ 鍾乳石(Stalactite) : CO_2 의 放出에 依하여 鍾乳石이 생긴다. 몇 世紀 동안에 긴 管과 같은 構造가 形成된 순수한 方解石($CaCO_3$)으로 다른 物質은 물과 함께 흘러 버려 方解石만이 沈澱한다. 洞窟에 空氣가 잘 循環하는 곳에 形成되며 空氣에 接觸하면 CO_2 가 消失되어 沈澱이 始作되는데 CO_2 生成은 緯度에 따라 差異가 있는데 熱帶에 많고 寒帶에 적다. 一般的으로 鍾乳石은 그 形態가 보족하고 천정에서 直徑 數 m의 鍾乳管을 中心으로 同心圓狀의 管을 形成한다.

◎ 石筍(Stalagmite) : CO_2 의 放出에 依해서 생기며 물이 떨어지는 地點에서 成長하는 것이 石筍이다. 물방울이 떨어지면 속크로 Gas가 放出되어 물의 溶解能力이 약하므로 方解石은 放出되어 石筍이 形成된다. 鍾乳石보다 直徑이 크고 둥그런 圓狀을 形成하며 石筍에는 中心管이 없고 50 feet까지 成長한다(直徑 : 30 feet) 즉 단을 가진 판을 形成하는 것이 石筍이다.

◎ 커튼(Curtain) 천장에 節理가 있는 곳에 龜裂에 따라서 물이 많고 적고간에 連續的으로 새어 나오는 곳에는 Curtain이 形成된다. 물방울이 경사진 천정을 흘러 繼續反覆으로 沈澱하여 생긴다. 方解石이 半透明이 薄版으로 한 방울의 물이 경사진 천정을 흘러 떨어지고 繼續해서 反覆함으로써 沈澱物이 하방에 層을 만들면서 附加시킨다. 그래서 Curtain 鍾乳石을 成長시킨다. 즉 Curtain은 천정에서 壁에 傳達되는 물에 依해서 形成되며 두께 1 cm 내외의 幕을 形成하고 그 周邊部는 툭 모양의 경우가 많다.

30) 홍시환, op. cit, p. 11.

31) Moore, op. cit, p. 50.

32) Ibid. p. 50.

- ◎ 石柱(Column) ; 鍾乳石과 石筍이 連結이 됐을 때 그 기둥 모양을 石柱라 한다.
- ◎ 石花(Cave Flower) ; CaCO_3 結晶이 天井에 붙어 있어 꽃 모양을 이룬 것을 말한다.
- ◎ 段丘(Travertine; terrace) ; 물이 넘칠 때 CO_2 가 放出되어 CaCO_3 이 沈澱하여 단구를 만든다. 이 段丘안에는 물이 고여 있는 경우가 많고 못을 이루며 石灰華段丘라고도 한다.
- ◎ 眞珠(Cave-Pearl) ; 圓狀으로 모래 혹은 他의 生成物들이 核을 中心으로 方解石이 同心圓狀의 沈積層으로 물방울의 落下 地点 周圍에 形成된다. 떨어지는 물방울에 依하여 回轉하면서 核 周圍에 沈積으로 形成한다. 즉 洞窟 바닥에 굴러 다니는 둥근 球形의 物質을 말한다.
- 流石(Flow-Stone) ; 壁이나 堆積物의 위를 흐르는 물에 依하여 生成한다. 表面은 반달형이 작은 片石들을 形成하는 경우가 많다.
- ◎ 溶蝕孔(Solution-Hole) ; 溶蝕 作用이 節理나 龜裂에 따라 行하여져 구멍이 생긴 것을 말한다.
- 曲石(Helictite) ; 浸透水에 依하여 形成한다. 天井 벽 기형 鐘乳石의 中心 구멍을 通하여 물이 沈積되어 生成된다. 洞窟 壁이나 生成物의 表面에서 여러 方向으로 구부러져 生成하는 작은 生成物로 그 成因은 잘 알려지지 않고 生成 場所는 限定되며 比較的 희귀한 生成物이다. 즉 鍾乳石에서 연직 方向과 關係없이 나무가지 方向으로 뻗은 것을 말한다.
- ◎ 片石과 片石窟(Pool) ; 堆積物이나 洞床(동굴 밑바닥)을 흐르는 물에 依하여 生成한다. Pool 表面에 떠 있는 方解石의 엷은 幕을 물이 움직이지 않은 단단한 Pool에 보이며 表面張力에 依하여 떠 있다. 水面에서 CO_2 의 發散에 依하여 生成한다.
- ◎ 石灰幕(Bacon Sheet) 옆으로 길게 連續된 것으로 두드리면 피아노같이 소리가 나는 幕을 말한다.
- ◎ 동굴산호; 壁에 밀집해서 生産하는 작은 산호 모양의 生成物로 그 成因은 잘 알려져 있지 않다.
- ◎ 암 붓; 宧지나 옛날의 洞床이 崩壞되지 않고 잔존한 것을 말한다.
- ◎ 宧 지; 壁面에 새겨진 水流에 依한 侵蝕의 痕跡을 말한다.
- ◎ 대광장; 節理나 斷層등의 龜裂이 밀집한 地帶에 생긴 石室을 말한다.
- ◎ 지 동; 主洞에서 분기한 작은 지동을 말한다.
- ◎ 洞內 堆積物; 水流에 依한 洞窟 外에 運搬物과 石灰中の 溶解性 物質을 包含하여 堆積物이라 한다.

VI. 結 論

忠北의 石灰岩은 古生代 大 石灰岩 統에 해당하고 洞窟의 形成은 新生代 第三紀, 第四紀 以後에 形成된 것으로 보이며 形成 時間도 1~2 萬年이고 石灰岩 地形에 있어서 特히 Sinkhole, Uvala 등이 發達하고 있으나 1/50,000 地圖 경우 영춘, 단양, 제천, 옥동, 영월, 보은, 황간리, 도곡 順이다. 忠北의 石灰岩 地形은 侵蝕 輪廻 過程에 있어서 幼年期에 해당하고 그 形態는 圓, 橢圓形이며 洞窟의 形成은 地下水의 溶蝕에 依하여 形成 된다고 하나 特히 日本이나 忠北의 경우 江邊에

洞窟의 發達이 顯著한 것으로 보아 地下水 외에 河川 水位 作用을 완전히 배제할 수는 없으며 石灰岩의 輪廻 過程 및 洞窟의 形成, 内部의 第二次 地形의 形成 原因도 여러가지 不明한 점이 많아 氣候, 地形, 地下水, 河川 등을 包含한 實驗的 分析이 要求된다. 忠北은 廣大한 地域에 걸쳐 石灰岩이 부존되어 있고 그러한 關係상 台地 위에 石灰岩 地形 및 石灰洞窟이 많이 分布되고 있어서 여기에 있어서 基礎的인 生成과 分布를 중심으로 記述하였다.

이와같은 石灰岩 地形 중에서도 特히 洞窟 및 洞窟 内部의 利用에 있어서 最近 韓國에 있어서 忠北의 高수洞窟, 남굴, 청석굴 등이 觀光客 유치에 成功하고 있다.

美國의 칼스반트 洞窟은 觀光客 50萬을 爲하여 그 施設이 準備되어 있고 一般 洞窟속에서는 遺跡들이 發見되고 있다. 野生 動物로 부터 安全하기 때문에 人間, 動物들의 遺跡들이 發見되고 또한 洞窟은 乾燥할 뿐 아니라 地下에 있기 때문에 温和하여 季節 사이에 있어서 氣溫 變化가 적어 그 地域의 平均 氣溫과 비슷하다. 피레네의 石灰洞窟에 있어서는 壁面가 發見되었고 아직도 아름다운 色과, 動物, 先史時代의 生活을 그린 壁面가 나왔다. 忠北에 있어서도 先史時代의 遺物, 壁面等이 發見되어 놀라게 한 적도 있으나 洞窟은 住居用, 기지, 저장고, 信仰 場所로 使用되어 왔고 地下水를 水源으로 使用하는 등, 觀光, 動物, 植物, 地理, 地質, 氣象學等 다 각 方面에 걸쳐 그 科學的 價值가 認定되고 있다. 忠北에 分布하고 있는 石灰岩 地形 및 洞窟의 分布는 앞으로 여기서 報告한 이외에도 더욱 調査 될 것이며 그 原因 및 特殊 地形에 對하여서도 綜合的인 調査 結果에 따라 그 利用 및 開發을 推進하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 李智皓, 國土와 地圖, 1972
 姜錫午, 新韓國地理, 1971
 金玉準, 成層岩의 層序, 1961
 尾留川正平, 自然地理調査法, 1973
 藤本治義, 新地質學汎論, 1961
 Ross Norton Pearson, *physical geography*, 1967
 Miller, *physical geology*, 1967