

Karst landforms의 地球化學的 研究
(A geochemical study of karst landforms)

劉 宰 臣

1. 序 論
2. 自然概觀
3. 石炭岩斗 溶蝕作用
4. Karst landforms의 考察
5. Historical geomorphology of Karst
6. 結 論

ABSTRACT

Jeongsun limestone formations with good geochemical solution of limestone and physical environments have been developing many Karst landforms. Especially, there are many dolines and most of them have elliptical shapes of planes. At present, they have been transformed into uvala toward their long diameter directions.

The period of landscape processing is a Quaternary Epoch and Karst cycle corresponds to a stage from late maturity to old stage.

1. 序 論

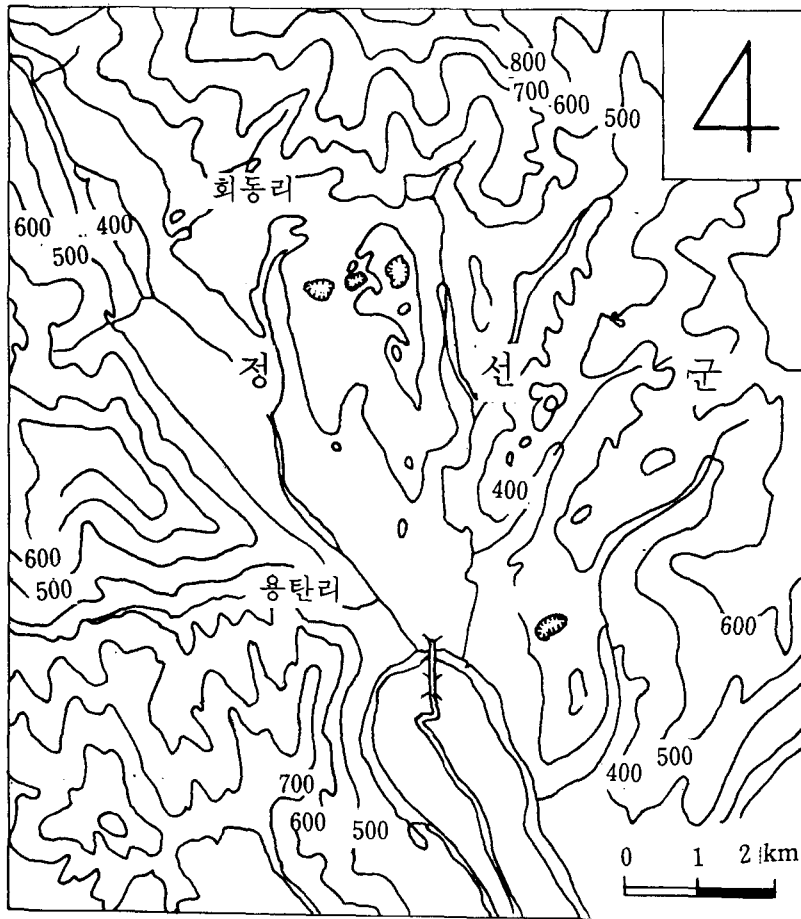
카르스트란 用語는 原來 Slav 語인 Krs 에서 由來된 말인데 올등 불통한 岩石이나 一般的으로 岩石이란 뜻이며 Yugoslavia 의 西北部 Slovenia 地方에 分布하고 있는 石灰岩地帶를 가르키며 獨逸語인 “Karst” 란 用語가 全世界的으로 通用되고 있다.

카르스트研究는 Assyria 王인 Salmanassar III 세가 Tigris 江邊에 있는 湧泉과 洞窟을 調査하기 위한 探險隊가 地中海 沿岸地域에 分布한 石灰岩에 새겨진 Greece 와 Rome 의 여러가지 遺蹟을 發見한 것이 世界 最初이다. 그후 1689 년에는 Valvasor 가 Slovenia 의 石灰岩地帶에 많은 洞窟地圖를 作成했으며 地質學的 및 水文學的研究는 19 世紀 中葉에 Adolf Schmidl 이 Postojna 地域에 調査한 것이 始初이다.

19 世紀 後半부터 20 世紀 初에는 카르스트 地形研究의 結實期였으며 Martel, Franz Kraus, Jovan Cvijic 및 A.Grund 등이 이 分野에 顯著한 業績을 남겼다. 世界第一次大戰 後에서 카르스트地形과 洞窟調査만을 위한 學會가 Austria 의 Vienna 에서 設立됐으며 G.Kyrle 가 世界에서 最初로 Speleology 分野의 教授가 되었다. 1954 년에는 國際 Speleology 會議가 있었으며 1954~1964 년에는 I.G.U가 Karst Phenomena 分野의 委員會를 發足시켰으며 Herbert Lehmann 이 初代 議長이 되었고 特히 Jean Corbel 은 相異한 氣候條件下에서 石灰岩의 溶蝕率을 測定하였으며 世界第二次大戰中에는 洞窟探險技術의 發達로 이 分野의 研究에 많은 도움을 주었다.

우리나라에서는 組織的이고 體系的 研究는 鄭障鎬, 徐茂松, 金大經 및 洪始煥 等に 依해 實施되었으며 特히 洪始煥은 洞窟의 調査, 開發, 保全 및 利用分野에 先驅者 役割을 했다.

本 研究地域은 旌善郡 地域中 Karst landforms가 顯著하게 發達된 檜洞理 一帶이다. (그림 1. 研究地域)



2. 自然概觀

本 地域은 大陸性 寒帶氣候에 屬하여 年平均氣溫은 10.5~11.7 °C 이고 降水量은 1,200~1,292 mm이며 降水量의 夏期集中度는 他地域에 比해 적은 편이다. 溶蝕이 比較的 잘되는 Cambrian~Ordovician 紀에 屬하는 旌善石灰岩이 分布하고 있으며 水系는 朝陽江이 東에서 西로 嵌入曲流하고 있어 Karst landforms가 發達하는데 必要的 自然的 條件을 具備하고 있는 地域이다.

本 地域을 代表하는 旌善石灰岩層은 灰白色의 塊狀石灰岩으로 灰色 또는 暗灰色의 Shale 을 小規模로 狹在하고 있다. 石灰岩의 溶蝕作用과 流水의 浸蝕作用으로 因해 發達된 段丘形 地形은 그 形態가 破壞되어 분간할 수 없을 程度이며 現谷底 보다 60~72 m 더 높은 高位面에 直徑이 4~45 cm에 이르는 礫의 分布로 보아 N20E~N35E 方向의 古水流가 있었으며 그 後에 地殼運動과 各種 地形形成作用의 營力에 依해 現地形의 景觀을 나타내주고 있다.

3. 石灰岩과 溶蝕作用

炭酸鹽岩類에 屬하는 石灰岩은 CaCO_3 가 主成分이며 이는 重量比로 50% 以上이거나 顯微鏡下에서는 50% 以上の areal percentages 를 차지한다. 大部分의 石灰岩은 海成起源이며 그 構成本質은 碎屑性, 化學的 및 有機的 物質로 되어 있으며 低壓과 低溫에서는 堆積作用後에 자주 變化되고 高壓과 高溫에서 變成作用을 받아 大理岩

Limestones, partially dolomitized limestones and primary dolomites			Non-"clastic" limestone class IV	Replacement dolomites class V	
Percent allochems ("clast"-matrix ratio) \longleftrightarrow					
Over 10% allochems ("clasts")					
\longleftrightarrow Cement-matrix ratio \longleftrightarrow spar > matrix Class I					
\longleftrightarrow Spar < matrix Class II					
Microcrystalline rocks Class III					
Miticrite and dolomicrite (calclitic)					
\longleftrightarrow Allochem composition [varying kinds of "clasts"] \longleftrightarrow	$> 25\%$ intraclasts	Intrasparrudite (intraformational conglomerate) ^a	Intramiticrite	Biohermite (kintite)	
		Intrasparite (lithic calcarenite)	—		
$< 25\%$ intraclasts	$> 25\%$ oolites	Oosparrudite (pisolite)	Oomicrudite	No allochem ghosts	
		Oosparite (oolitic calcarenite)	Oomicrite		
	fossil-pellet ratio	3:1	Biosparrudite (coquina)	Biomiticrite (fossiliferous calclitic)	Biogenic dolomite
		3:1 to 1:3	Biosparite (biocalcarente)	—	
$< 25\%$ oolites	1:3	Pelosparite (pellet calcarenite)	Pelmiticrite (pelletiferous calclitic)	Pellet dolomite	

^a Pettijohn's common terms in parentheses. Source: Modified from Folk (1954).

(表1) 石灰岩 分類

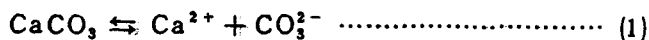
으로 變한다. 따라서 石灰岩은 주로 그 組織과 Karst 形成 作用에 미치는 影響등을 고려하여 最近에는 다음과 같이 分類하기도 한다.

(表 1. 石灰岩 分類)

石灰岩은 溶蝕作用과 浸蝕 및 堆積作用에 依해 여러가지 Karst Phenomena 를 形成시킨다. 主成分이 $CaCO_3$ 이므로 純粹한 물이 있을 때 보다는 蝕和時에는 溶解量이 增加하여 $16^\circ C$ 에서는 $13\text{ mg}/\ell$ 이고 $25^\circ C$ 에는 $15\text{ mg}/\ell$ 이나 aragonite 로 存在할 때는 이보다 約 16% 以上 溶解가 可能하다. 植生이 腐敗하여 생긴 有機酸의 役割에 對해서는 거의 알려지지 않았으나 William (1970) 는 Ireland 에서 石灰岩地帶內의 peaty water 를 研究한 結果 有機酸의 重要性을 認定했으며 Keller (1957) 는 Chelates 가 石灰岩에 對해 酸의 作用을 하는 有機物이라고 主張했다.

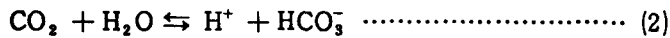
硫化鐵物의 風化로 생긴 黃鐵石과 白鐵石은 때때로 頁岩에 狹在되어 產出되기도 하며 이들은 石灰岩이 溶解하는데 強力하게 作用하는 溶劑이다.(Pohl and White 1965, Morehouse 1968). 그러나 降水量內에 包含된 NO_2 는 石灰岩 溶蝕에 거의 影響을 미치지 못한다.

炭酸에 依한 役割이 大端히 크므로 Carbon dioxide-water-calcium carbonate 系는 複雜한 物理化學的 作用을 하며 溶蝕된 Calcium carbonate 는 ion 狀態로써 다음과 같은 反應을 한다.

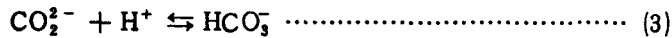


두 ion 의 生成物은 一定하며 水溫이 높고 물을 더 교란시킬수록 飽和狀態에 더빨리 到達하게 되며 더 많은 量의 石灰岩이 溶解되기 爲해서 化學反應은 右側으로 進行되어야 한다.

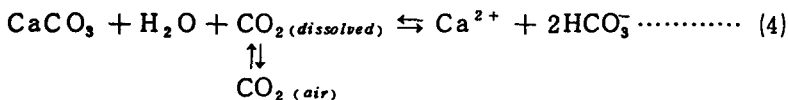
自然水內에는 溶解되어 있는 CO_2 를 약간 包含하고 있으며 平衡狀態의 量은 물과 接觸하고 있는 P_{CO_2} 가 增加할수록 增加하고 水溫이 增加하면 減小한다. 水溫이 $0^\circ C$ 에서 $35^\circ C$ 로 增加하면 飽和狀態에 있을 때의 量보다 $1/3 \sim 2/3$ 로 떨어진다. 溶解된 CO_2 는 小量이라도 신속히 물과 反應한다.



溶解된 石灰岩으로 부터 생긴 Carbonate ion 들은 水素 ion 과 신속히 反應한다.



(3)의 反應으로 (1)과 (2)의 平衡狀態가 깨지며 Ca^{2+} 와 CO_3^{2-} 의 濃度の 積을 維持하기 爲해서 더 많은 量의 石灰岩이 溶解되고 많은 量의 물과 反應하여 炭酸을 生成시킨다. 이런 反應은 신속하게 進行되나 보통 大氣壓下에서는 約 $8\text{ mg} / \ell$ 의 比率로 溶解시킨다. (3)의 反應으로 大氣中 PCO_2 와 물속의 PCO_2 사이에 不平衡이 생겨 CO_2 擴散作用은 大氣에서 부터 물속으로 進行된다. 따라서 石灰岩의 溶蝕作用은 다음과 같게 된다.



CO_2 의 水中으로의 擴散作用은 (1), (2)의 反應에 比하면 느린 速度로 進行하나 水溫, 流速 및 교란운동에 크게 影響을 받게 된다. (4)의 反應이 右側으로 進行하면 石灰岩의 溶蝕이 進行되어 Karst landforms 가 形成된다.

4 . Karst landforms 의 考察

本域에는 terra rossa, karren, doline 및 uvala가 發達되어 있다.

terra rossa는 植生이 不良한 地域에서 小規模로 나타나며 特別히 高度가 낮고 土壤水의 蒸發量이 많은 地域에 發達이 顯著하며 그 두께는 3 ~ 5 m程度이며 他地域에 비해 CaCO_3 의 含量이 적으므로 溶蝕率도 적어 terra rossa의 發達은 微弱한 편이다.

龍灘里의 karren은 25° 内外의 緩傾斜地帶에 發達되었으며 主溶蝕 方向은 N 48 E이고 地表에 露出된 높이는 20 ~ 55 cm에 不過하며 尖端은 大體로 매끄러운편이다.

doline는 旌善石炭岩의 特性 및 Karst 輪廻에 依해 形態와 發達 程度가 左右되며 本域에서 가장 顯著하게 나타나며 大部分이 橢圓形이며 圓形에 가깝거나 不規則한 것도 있으며 그 特徵은 다음과 같다. (表 2. doline 特性)

< 表 2 >

doline 特 性

순위	장경 (m)	장축방향	측면경사(도)	깊이(m)	평면형태	장경/깊이
1	50	N 42W	25	10	타 원 형	5.
2	80	N 50 E	21	12	"	6.7
3	47	EW	18	12	"	3.9
4	65	NS	13	15	"	3.
5	30	N 70 E	26	19	"	1.6
6	50	N 65 E	20	15	"	3.3
7	110	N 10W	21	15	"	7.3
8	35	N 12W	20	12	"	2.9
9	40	N 15W	22	12	"	3.3
10	50	N 2W	20	15	"	3.3
11	35	N 5W	21	12	"	2.9
12	35	N 4W	20	14	"	2.5

순위	장경 (m)	장경 방향	측면경사(도)	깊 이(m)	평 면 형 태	장경/깊이
20	60	N 30 W	22	10	타 원 형	6.
21	65	N 10 W	20	15	"	3.
22	65	N 12 E	20	12	"	5.4
23	50	N 30 W	25	20	"	2.5
24	90	N 46 W	20	15	불 규 칩	6.
25	50	N 35 E	21	15	타 원 형	3.3
26	45	N 30 E	21	15	"	3.
27	30		18	12	원 형	2.5
28	40	N 5 E	20	13	타 원 형	3.1
29	60	N 4 W	22	18	"	3.3
30	70	N 10 W	22	15	"	4.
31	60	N 25 W	15	10	"	6.
32	90	N 60 E	17	12	"	7.5
33	30	N 10 E	15	18	"	1.7

순위	장경 (m)	장경방향	측면경사 (도)	깊이 (m)	평면형태	장경 / 깊이
41	40	EW	29	25	타 원 형	1.6
42	40	N 75 E	30	24	"	1.7
43	45	N 85 E	23	20	"	2.3
44	35	N 15 W	22	21	"	1.7
45	60	EW	23	24	"	2.5
46	55	N 78 E	25	22	"	2.5
47	50	N 65 E	20	25	"	2.
48	30	N S	22	24	"	1.2
49	45	N 80 E	24	24	"	1.9
50	80	EW	20	23	"	3.9
51	50	—	45	25	원 형	2.0

uvala 는 doline 의 長徑方向으로 伸長되어 있으며 Cvijic (1960) 은 單純히 石炭岩의 溶蝕에 依한 것이라고 했으나 一般的으로 doline 가 擴張되어 隣接 doline 와 連結되어 平面形態가 不規則的인 形態의 複合 doline 이며 그 特性은 다음과 같다 (表 3 . uvala 特性)

< 表 3 >

uvala 特 性

순 위	장 경 (m)	장 축 방 향	평 면 형 태	파 괴 된 Doline 數
60	210	N 2 W	└ 자 형	4
61	270	N 48 E	직 선 형	3
62	170	N 18 E	삼 각 형	3
63	210	N 22 W	직 선 형	4

uvala는 位置에너지가 크고 Karst cyle이 더 오래된 地域에서 큰 規模로 發達한다.

5. Historical geomorphology of Karst

全 地界의으로 氣候가 相異한 地域에서는 Karst phenomena에 對한 研究가 많이 遂行되었으나 氣候變化에 對한 發達過程의 研究는 不振한 편이다.

本域은 地質學的 및 地形學的 研究結果에 依하면 第四紀 Pleistocene Epoch에 거의 形成되었으며 現在도 地形의 發達은 繼續되고 있다. 特히 長徑 2 ~ 35 m크기의 藥이 古期河成層에 分布하고 있어 現地形은 이 時期에 形成된 것으로 思料된다.

doline와 uvala의 破壞程度가 比較的 적으나 現在도 그 形態가 계속 變化하고 있으며 이들의 稜線은 地形形成作用의 影響을 받아 不規則한 모양으로 變해가고 있으므로 輪廻時期는 晩壯年期에서 老年

期사이로 思料된다.

6. 結 論

本域은 古生代地層인 旌善石炭岩이 分布하고 있고 Karst landforms 가 잘 發達할 수 있는 自然環境을 具備하고 있는 地域이다.

특히 doline의 發達이 顯著하며 그 平面形態는 大部分이 橢圓形이며 이들이 長徑方向으로 擴張하여 uvala가 形成되었다.

地形發達은 第四紀로 思料되며 Karst 輪廻는 晩壯年期에서 老年期로 轉移되는 時期로 생각된다.

參 考 文 獻

1. Martel, E. 1910. La theorie de la Grundwasser, et les eaux souterraines du karst. Geographie, 21:126-30.
2. Cvijic, J. 1960. La geographie des terrains calcaires. Academie serbe des Sciences et des Arts monographies, 141.
3. Grund, A. 1914. Der geographische Zyklus im Karst. Z. Ges. Erdk. Berl., 1914:621-40.
4. Kyrle, G. 1923. Grundriss der Theoretische Spelaologie. Vienna.
5. Lehmann, O. 1927. Das Tote Gebirge als Hochkarst. Mitt. geogr. Ges. Wien, 70:201-42.

6. Corbel, J. 1960. Nouvelles recherches sur les karsts arctiques Scandinaves. Z. Geomorph. 2:74-80.
7. Jennings, J.N., "Karst," MIT Press, Cambridge, 1971, 1-252.
8. 鄭璋鎬, "Karst 地形," 原色科學 大百科事典. 1971. 232-239.
——, "Karst 地形," 地理學會報 第 13 號, 1975. 1-7.
9. 金大經, "Karst 地形에 관한 研究," 建國大學院, 碩士學位 論文, 1978.
10. 徐茂松, "韓國의 Karst 地形," 只山先生 華甲論文集, 1966. 69-78.
——, "韓國의 石炭洞窟産 Pisolite 에 관한 研究," 地理學 第 16 號, 1977. 78-84.
11. 權赫在, "地形學 原論," 法文社, 1974. 132-146.
12. 洪始煥, "韓國의 洞窟에 對한 研究," 洞窟學會誌, 1975. 6-8.
——, "地理學史," 大旺社, 1977. 218-219.
——, "우리나라 主要觀光洞窟의 環境實態에 관한 調查研究," 洞窟學會誌, 1987. 9-41.
——, "韓國의 自然洞窟," 금화사, 1978, 1-259.
——, "韓國의 熔岩洞窟," 洞窟學會誌, 1981. 15-24.
——, "高氏 洞窟內部整備工事計劃," 洞窟學會誌, 1985. 35-49.