

VII. 韓國洞窟의 洞窟環境

洞窟은 항상 폐쇄된 세계로 恒溫, 恒濕, 恒暗의 地下世界이므로 특수한 環境을 이루고 있다. 즉 동굴의 溫度는 년중 거의가 일정하고 햇빛이 없는 캄캄한 암흑의 세계라는 것이 하나의 특색이다.

대체로 동굴의 大氣는 氣流의 움직임이 매우 느린 관계로 洞口부근에는 대기온도와 洞窟의 溫度가 크게 달리 나타나지만 차차 안으로 들어가면서 동굴내의 대기온도는 동굴벽, 즉 동굴의 온도와는 거의가 비슷하게 나타난다. 이 때문에 窟속 깊은 지점의 온도는 석회암의 온도와 관계되고 있으며 그 온도는 대체로 地表의 년간 平均氣溫과 비슷하다.

地表 溫度의 日較差와 年變化는 그 熱이 岩層에 傳導되어 밑에 있는 지하의 동굴에 이르면서 점차 그 온도가 감소되는 경향이 있다.

水溫은 대개 년중 비슷하고 여름이 약간 높고, 동굴의 깊이에 따라서도 큰 차이가 없는 것이 보통이다.

이와같은 동굴의 특수 環境은 마침내 洞窟生態系와 環境을 특수하게 만들어 이른바 지하세계의 環境을 이루게 하였다.

즉 특이한 동굴생물의 生態系를 이루게 하여 異質的인 地下生物을 나타나게 하였다.

그리고 地表에서와 같은 공간변화를 나타나게 하는 風化作用이 거의 없으면 반면 地下水流에 의한 水蝕地形이 나타나는 특수환경을 나타내고 있다.

地質環境을 보면 石灰석 동굴은 카르스트 지역에 火山동굴은 火山

地域에 海蝕동굴은 해안가 혹은 도서지방에 많이 나타나는데, 石灰洞窟의 암석 주성분은 C_2O 이고, 火山洞窟은 SiO_2 이다.

① 水文環境

洞窟의 水質에서 pH는 6.8-7.6 사이를 내고 있는데 동굴의 위치나 깊이에 따른 변화는 없다. 즉 수질중의 칼슘은 高氏窟이 5.2-6.8mg/l, 蘆洞窟은 7.6-8.5mg/l, 古藪窟은 7.4-8.2mg/l 이다.

이러한 濃度의 차이는 洞窟內部를 흐르는 물의 양이 많을수록 칼슘 함량이 적은 경향을 나타낸다. 칼슘외에 다른 성분들은 일반적으로 高氏窟은 수질에 無機物의 함량이 작은 경향을 나타냈고 다른 동굴의 水質은 비슷한 경향을 띈다. 이러한 결과는 외국의 동굴내 수질분석 결과와 비교해 볼 때 PH 값은 약간 높은 값을 나타내나 無機成分의 분석값은 비슷한 값을 나타내고 있다. 이러한 결과로 미루어 보아 化學成分을 이용하여 동굴의 環境汚染을 판정하는 것은 대단히 어려운 문제라고 본다.

표 - 洞窟內 地下水의 거리별 수질 비교 (mg/l)
 < 고수굴 >

거리(M)	pH	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	SO	Cl
100	7.6	7.5	3.2	5.4	0.8	35	4.2	4.5
300	7.3	8.2	4.5	5.2	0.5	42	5.0	12
600	7.4	7.4	4.5	5.7	1.0	38	3.8	6.5

< 고씨굴 >

(mg/ℓ)

거 리 (M)	pH	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	SO	Cl
100	7.4	3.2	2.0	4.2	0.2	33	5.2	4.5
300	7.4	5.5	1.0	4.3	0.2	38	4.2	4.5
500	7.2	6.8	2.0	4.2	0.2	40	5.0	5.0
700	7.40	5.2	3.0	4.0	0.2	32	4.5	4.5
800	7.3	5.8	1.0	4.0	0.2	35	4.2	4.5

< 성류굴 >

(mg/ℓ)

거 리 (M)	pH	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	SO	Cl
100	7.4	16.2	5.0	8.5	0.9	28	7.8	6.8
300	7.2	17.8	4.8	8.8	1.3	27	6.5	9.5
600	7.5	15.6	4.7	8.4	1.2	26	9.7	7.6

표 - 洞窟内外 水의 水質 比較

< 聖留窟 >

장소 \ 성분	OC	습도 (%)	pH	경 도 CaCO ₃ (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
왕 피 천 물	23.8	-	7.74	15.9	2.2	0.55	0.40
동굴내 고인물	17.4	95	7.78	81.3	2.6	0.28	1.04
동굴내 적하수	16.6	92	8.18	154.1	2.0	0.30	0.66

Ca (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	알칼리度 HCO ₃ ⁻ (ppm)	ℓ (ppm)	SO ₄ (ppm)	PO ₄ (ppm)	SiO ₂ (ppm)
4.2	0.07	0.07	14.4	1.4	3.3	0.01	12.1
40.8	0.04	0.04	124	2.4	3.1	0.00	18.4
57.4	0.06	0.01	166	2.9	4.4	0.00	8.4

〈古藪洞窟〉

장소	성분	OC	습도 (%)	pH	경도 CaCO ₃ (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
	동굴앞	개천	23.3	-	7.75	16.7	2.0	0.62
동굴내	고인물	16.8	95	7.92	82.5	2.8	0.25	1.02
동굴내	적하수	16.0	92	8.21	152.5	1.8	0.33	0.61

Ca (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	알칼리도 HCO ₃ ⁻ (ppm)	ℓ (ppm)	SO ₄ (ppm)	PO ₄ (ppm)	SiO ₂ (ppm)
4.6	0.01	0.05	14.2	1.6	3.2	0.01	12.5
40.5	0.03	0.03	126	2.2	3.0	0.00	18.2
58.8	0.04	0.01	162	2.7	4.8	0.00	8.2

洞窟内外水の 水質을 보면 동굴내 떨어지는 물은 CaCO₃ 성분이 동굴밖 물 보다 10 정도 높게 나타나며 나머지 성분에서는 큰차를 보이지 않는 경향이 보통이다.

또한 동굴속의 水溫은 地域에 따라 약간의 차이를 보이나 대체로 12-16℃ 내에 있다. 단 겨울에는 여름보다 2-3℃ 낮아 그리고 동굴의 길이에 따라 입구를 제외하고는 水溫의 큰 차이를 나타내지 않고 안정상태를 이룬다. 그러나 火山洞窟이 石灰洞窟보다 1-2℃ 정도 낮게 나타나고 있는데, 이것은 火山洞窟은 구조가 간단하여 氣流를 차단하는 장애물이 없고, 석회동굴은 복잡한 미로를 이루어 외부기류를 차단시키기 때문이다.

석회동굴

< 성류굴 >

위 치	동굴 입구	제 1 동 방	제 2 동 방	제 3 동 방	제 4 동 방	제 5 동 방	제 6 동 방	제 7 동 방	제 8 동 방	제 9 동 방
수 온	16.1	14.7	14.4	13.6	-	14.8	14.4	-	13.4	-

< 고수굴 >

위 치	용 수 굴	동굴속 용해수	동굴류	동굴밖 금곡천
수 온	14.2	16.4	16	18.4

< 고씨굴 >

위 치	용 수 굴	동굴속 용해수	동굴류	동굴밖 금곡천
수 온	13.4	15.2	15.8	17.0

화산동굴

동굴명	만장굴	빌레못	소천굴	한들굴	와홀굴	신창굴	구린굴	미천굴
수 온	12℃	11℃	13℃	13℃	13℃	12℃	11℃	12℃

(조사 : 1985년 7월)

② 氣象環境

洞窟氣象의 일반적인 특성은 濕도가 높고 溫도의 변화가 적은 것인데 동굴내의 氣候溫도는 石灰岩의 溫도와 관련되고 있으며, 대체로 地表의 年平均氣溫과 비슷하다. 그러나 季節의 변화, 洞口的 수에 영향을 받으므로 실제로 동굴의 氣溫은 1年을 통해서 보면 恒溫을 나타내지 않는다. 일반적으로 洞窟의 입구 부근이 높고 깊은 곳으로 갈

수록 낮아진다.

洞窟內의 氣象은 洞窟 소재지의 緯度 標高, 地表에서 부터의 깊이 및 계절과 동굴의 크기, 형태, 그리고 洞窟入口의 數에 따라서 상당히 달라 질 수 있다.

洞窟의 氣象 環境條件中 적합한 濕度の 유기는 동굴퇴적물의 생성 발달에는 물론 동굴동물의 생존유지에 절대적인 영향을 미친다. 洞窟 內部の 濕度は 90%내외이며 전체적인 습도변화는 10%내외로 恒濕이 유지되고 있는 것으로 판단된다.

地表溫度的 日較差의 年變化는 그 地表熱이 石灰岩層 때문에 밑에 있는 地下의 동구에 이르면서 점차 그 온도가 감소되는 경향이 있어 晝夜의 온도 변화가 30℃인 경우에도 地表밑에 1m 깊이의 지점에서는 그 변동이 거의 1℃ 밖에 안되고 있다.

그리고 洞窟內 氣溫은 여름에는 대체로 평균 16℃내외, 겨울에는 14℃ 내외이다.

여름 계절의 동굴내 氣溫의 차는 높은 위치에 있는 동굴의 기온이 낮은 위치에 있는 동굴보다는 기온이 높게 나타난다. 外氣의 온도가 상승하면 도리어 氣流는 洞窟內部 끝에서 洞窟 밖으로 흐르며 급격한 온도 상승을 억제하고 비교적 낮은 온도를 유지하게 된다. 밤이 되면 공기는 차지고 氣壓은 낮아진다.

그러므로 공기는 해가 지면 굴속으로 流入되고 해가 뜨면 洞窟에서 流出하고 있다. 더구나 동굴의 입구와 출구지역에서의 氣流의 이동은 현저하게 나타나고 있다.

洞窟은 분포하는 해발고도의 차에 의해서 약간의 氣溫差가 발생하

는데, 濟州島의 火山洞窟 調査에 의하면 海岸低地帶에 분포하는 挾才窟, 金寧蛇窟 등 보다는 한라산의 산간지역에 있는 해발 700m 지점의 구린굴이 동굴 속 온도에서 2-3℃의 차로 낮다.

대체로 8월의 동굴내 기온범위를 측정하면 15-19℃ 사이에서 동굴에 따라 다르게 나타나고 있다. 즉, 地表面 기온이 높은 저지대의 동굴 기온이 높고, 기온이 낮은 高山地帶의 동굴일수록 낮은 분포를 보이고 있다.

즉 이는 洞窟 氣溫의 일변화나 년변화가 크지는 않지만, 대체로 지표면의 기온 변화와 일치한다고 생각된다.

표 - 洞窟內 氣溫 및 濕度 (火山洞窟)

동굴명	만장굴	금녕사굴	수산굴	빌레못굴	협재굴	황금굴
기온	15℃	17℃	16℃	14℃	16℃	17℃

동굴명	소천굴	옥산굴	한들굴	와홀굴	신창굴	협재굴	황금굴
기온	16℃	16℃	17℃	17℃	16℃	15℃	16℃

<자료: 1985년 7월과 8월에 측정>

표 - 洞窟內 氣溫 및 濕度 (石灰洞窟)

< 고씨굴 >

거 리 (M)	100	300	500	700	800
온 도 (℃)	13.5	12.8	13.0	14.0	14.2
상대습도 (%)	88	89	92	97	98

< 주의 : 입구온도 18℃ >

< 성유굴 >

거 리 (M)	100	300	600
온 도 (℃)	13.2	13.3	14.0
상대습도 (%)	93	97	98

< 주의 : 입구온도 20℃ >

< 노동굴 >

거 리 (M)	100	200	300
온 도 (℃)	13.8	14.5	14.5
상대습도 (%)	88	89	97

< 주의 : 입구온도 20℃ >

< 교수굴 >

거 리 (M)	100	300	600
온 도 (℃)	13.7	14.2	14.2
상대습도 (%)	87	98	98

< 주의 : 입구온도 18℃ >

< 용담굴 >

거 리 (M)	100	200	300
온 도 (℃)	13.0	14.7	14.7
상대습도 (%)	86	94	94

< 주의 : 입구온도 22℃ >

< 자료 : 1986년 4월부터 10월까지 격주로 측정 한 값의 평균 >

③ 岩石 環境

전세계에 널리 분포되고 있는 石灰岩의 대표적인 것들을 종합하여 이를 분석한 결과에 CaCO_3 이외의 미량 성분으로서 $\text{Fe} > \text{Mg} > \text{Mn} > \text{Sr} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{V} > \text{Pb} > \text{Cr}$ 의 순서로 함유되고 있는데 이의 함량은 Fe 4,000-10,000 ppm, Mg 2,400-4,000 ppm, Mn 400-4,400 ppm, Zn 20-40 ppm, Ni 10-20 ppm, Cu 10-20 ppm, V 5-20 ppm, Pb 5-10 ppm, Cr 5-10 ppm 정도이다.

CaO , MgO , Al_2O_3 는 EDTA 適定法, Fe_2O_3 , MnO , P_2O_5 는 比色法, Sr, SO 및 Cl는 이온교환수지를 이용하여 분석한 후 탁도시형법, SiO_2 와 수분은 무게분석법으로 분석하였다.

특히 水分은 微細粉末의 試料를 105.5°C 에서 2시간 건조하여 무게의 減量으로 수분함량을 계산하였다. Na와 K은 불꽃分光光度法으로 정량하였다.

우리나라 주요 석회동굴에 있어서 구성암석의 成分을 분석한 결과는 아래표와 같다.

즉 C_2O 가 53% 정도로 가장 많고 그 다음은 MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 등이 1% 내외의 미량 포함되어 있는 것으로 나타나 외국의 분석치와 대동소이다. 火山洞窟에 있어서 岩石의 주성분은 SiO_2 로 47% 정도를 차지하여 가장 많고, 그 다음이 Al_2O_3 가 약 20%, Fe_2O_3 가 약 10%, MgO 가 약 8%, C_2O 가 약 7% 등의 순으로 나타나 석회동굴의 암석 구성비와 대조적으로 나타났다.

즉 석회암 동굴에서 C_2O 가 구성분의 약 40% 이상을 차지하는데 비해서 火山洞窟에서는 10% 정도를, SiO_2 가 石灰洞窟에서는 1% 정도의 아주 적은 구성성분을 차지하는데 비해서 용암굴에서는 약 40% 정도를 차지

하여 주성분으로 나타났다.

火山洞窟은 SiO₂ 함유량을 기준으로 보면 유동성이 크고 온도가 높은 粘性의 염기성 용암으로 나타났다. 또 火山洞窟의 암석 pH값을 보면 挾才窟은 8.57, 쌍용 8.5, 황금 8.7, 소천이 8.4 로써 黃金窟이 높은 알칼리도를 나타내고 있다. 이 지역 암석의 평균 pH농도는 8.54 이고, pH 7.0 에 가까울수록 동굴을 잘 발달시킨다고 볼 수 있다.

4개의 火山洞窟 공히 長石이 가장 많이 검출되었고 2차 광물인 Kaolinite, Montmorillonite 는 검출되지 않은 것으로 보아 동굴을 이루는 기반 암석들은 매우 신선하다고 추정할 수 있다.

二次生成物인 石筍, 石柱, 鍾乳石, 鍾乳管은 암석의 구성성분은 대동소이 하게 나타났는데, 주성분은 역시 C₂O로 약 50%내외이다. 중유석의 色相은 白色, 淡黄色, 淡青色을 띠었다. 비중은 1.8-2.1 정도이다. 淡青色은 銅酸化物의 混在하고 淡黄色은 鐵酸化物이 混在한다. 白色은 주로 SiO₂ 가 불순물로 다량 포함되어 있었다.

鍾乳石에 함유된 水分은 洞窟의 相對濕度에 따라 다르며 濕度는 약 70-80%이었으며 중유석의 純度와 성장관계는 앞으로 더 조사되어야 할 것으로 믿는다.

표 - 이차생성물의 성분분석

< 洞窟 >

산지 \ 성분 (%)	CaO	Co ₂	MgO	K ₂ O ₃	SiO ₂	Sr	Ba
고 씨 굴	55.7	42.9	1.75	6.23	0.11	0.05	ND
성 유 굴	54.4	45.2	0.35	0.01	ND	ND	ND
용 담 굴	53.8	44.2	0.17	0.72	0.53	0.12	0.05
노 동 굴	56.2	43.2	0.22	0.11	0.04	0.05	0.01
고 수 굴	55.8	43.5	0.28	0.15	0.01	0.07	ND

(자료 : 중유석)

< 고수갈 >

종류 \ 성분	CaO (%)	MgH (%)	Fe (ppm)	Al (ppm)	SiO ₂ (ppm)
석 순	54.51	-	352	520	0.52
석 주	53.52	-	242	720	0.22
종 유 석	54.27	-	825	450	0.05
종 유 관	54.19	-	543	582	0.12

종류 \ 성분	Mn (ppm)	Sr (ppm)	P ₂ O ₅	ℓ (ppm)	H ₂ O (%)
석 순	-	8.01	0.012	252	1.08
석 주	12	-	0.102	358	1.88
종 유 석	-	0.52	0.027	416	2.02
종 유 관	-	1.58	0.011	125	1.82

< 성류갈 >

종류 \ 성분	CaO (%)	MgH (%)	Fe (ppm)	Al (ppm)	SiO ₂ (ppm)
석 순	52.31	-	350	518	0.48
석 주	52.48	-	238	714	0.19
종 유 석	53.98	-	821	448	0.06
종 유 관	54.11	-	548	569	0.13

종류 \ 성분	Mn (ppm)	Sr (ppm)	P ₂ O ₅	ℓ (ppm)	H ₂ O (%)
석 순	-	7.99	0.010	248	1.10
석 주	11	-	0.105	351	1.86
종 유 석	-	0.48	0.028	420	2.04
종 유 관	-	1.62	0.014	128	1.88

표 - 동굴암석의 성분 분석

* 화산동굴

성분 동굴	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	합 계
협재굴	47.5	19.3	10.8	8.8	6.8	3.2	0.8	97.2
쌍용굴	46.2	19.8	11.7	9.1	6.2	3.4	0.7	97.1
황금굴	48.7	18.8	10.7	7.8	7.5	3.1	0.7	97.3
소천굴	47.2	18.5	12.3	9.3	6.2	3.5	0.6	97.6
평균	47.4	19.1	11.4	8.75	6.7	3.3	0.7	97.35

* 석회동굴

< 고씨, 용암, 노동굴 >

성분 시료No	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
고씨굴	46.57	0.82	0.21	0.15	2.88
용담굴	52.85	1.15	0.27	0.20	2.12
노동굴	49.02	2.53	0.31	0.51	2.42

MnO	Sr (ppm)	P ₂ O (ppm)	SO (ppm)	Cl (ppm)	H ₂ O (ppm)
0.01	0.04	0.08	0.06	0.02	0.82
> 0.01	0.09	0.07	0.04	> 0.01	0.36
> 0.00	0.10	0.10	0.01	> 0.00	0.42

< 고수동굴 >

성분 시료No	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1	52.32	1.25	0.09	0.05	3.27
2	53.35	1.10	0.87	0.12	1.09
3	55.72	0.25	0.04	0.08	0.15
4	54.04	0.17	0.57	0.09	0.16
5	53.12	0.44	1.44	0.03	0.58

MnO	Sr (ppm)	P ₂ O (ppm)	SO (ppm)	Cl (ppm)	H ₂ O (ppm)
0.022	220	98	-	70	42
0.125	-	31	7	28	9
0.012	582	12	-	32	25
0.015	-	-	-	42	32
0.042	305	-	-	22	7

< 성류동굴 >

시료No	성분	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅
1		50.30	1.20	0.08	0.06	3.21
2		51.26	1.08	0.86	0.10	1.14
3		54.71	0.30	0.04	0.09	0.20
4		53.12	0.21	0.52	0.07	0.18
5		52.24	0.41	1.38	0.04	0.60

P ₂ O ₅	Sr (ppm)	Mr (ppm)	Ba (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)
0.019	24.0	96	-	68	44
0.118	-	29	8	27	11
0.021	578	14	-	30	27
0.018	-	-	-	41	29
0.038	307	-	-	24	8