

# 溫達窟의 生態環境에 관한 研究

신홍 전문대 교수 김추윤

## 1. 序論

溫達窟은 天然記念物 第 261 號로 지정받은 文化財洞窟로써 石灰洞窟이다. 원래 文化財에 해당하는 洞窟들은 그 洞窟이 지니고 있는 學術的, 文化財的인 價値를 分野別로 調査하여 이 洞窟의 學術的 臺帳을 삼어야 하며 그 價値基準에 의하여 天然記念物과 地方記念物 등등의 등급으로 區分하는 것이다. 물론 文化財에 해당하지 않는 그밖의 洞窟들은 自然洞窟이라고 지칭하고 있음은 재언을 요하지 않는다.

이 學術調査는 溫達窟의 學術的, 文化的 價値를 밝히고 앞으로 이 溫達窟의 地形地物의 毀損, 生態環境의 變化 등에 관한 基本的인 사항을 臺帳으로 하여 根幹基準資料를 삼기위하여 이 洞窟의 전반에 걸친 調査를 실시하는 것이다. 실제로 洞窟의 環境은 永久不變한 것이 아니라 항상 洞窟內外의 大氣, 水質 그밖에 많은 環境要因에 의한 變化가 있는 것이 당연하므로 이에 따른 地形地物의 毀損, 汚染 등이 예측되고 있으므로 이들의 基準資料가 반드시 있어야 함에도 불구하고 아직까지 이 洞窟에 대한 전반적인 資料調査가 시행되어있지 않았다. 따라서 이제라도 學術調査를 실시하여야 할 필요성이 제기된 것이다. 그리고 이 學術調査 結果는 반드시 앞으로의 環境保全 對策을 수립하는데 基準資料로 사용되도록 하여야 하겠다.

本 洞窟調査는 溫達窟 內部에 국한한 調査로 地表部인 溫達城의 城山地域에 대한 學術調査는 이미 따로 시행되었으므로 이번 調査에서는 洞窟地表 內部에 중점을 두어 調査를 實施한다.

## 2. 洞窟内の 氣象

### (1) 概要

洞窟속의 氣象은 커다란 변화가 없는 것이 特徵이다. 항상 캄캄하고 항상 洞窟內 大氣의 변화가 없는 것이 보통이기 때문이다.

더구나 石灰洞窟의 경우 洞窟 入口가 2개소 이상일때에는 氣流의 移動이 생겨서 洞窟의 大氣象態가 고르지 못할 것이나 溫達窟은 밀폐된 폐쇄형 洞窟이므로 이와 같은 경우에는 洞窟의 氣象 즉 大氣의 상태는 學術研究의 좋은 자료가 된다.

즉, 洞窟 生物의 棲息環境을 이루어 주는 大氣象態의 乾濕, 氣溫의 高低, 溫度의 變化 등에 따라 때로는 二次 生成物의 成長 發達에는 커다란 요인의 하나가 되고 있기 때문이다.

이밖에도 多濕한 棲息環境은 洞窟生物의 棲息에 유리한 조건을 제공해 주고 있기 때문에 多濕한 洞窟의 棲息環境의 研究調查는 生物生態하고는 크게 관계가 되고 있어 學術研究에 도움이 된다.

### (2) 溫達窟의 大氣 狀態

洞窟 地域의 氣候는 대륙성 氣候를 이루고 있으며 또한 일교차가 심한 내륙성 氣候를 이루고 있다. 다만 南漢江이 옆을 흐르고 있어 이와같은 현상은 다소 완화되게 나타나고 있다.

그리고 溫達窟內 氣溫은 여름에는 대체로 16°C 내외이고, 겨울에는 14°C 내외이다. 洞窟內 地下水流의 水溫은 年中 12°C 内外로 측정되었다.

여름철에 洞窟內 氣溫의 차는 높은 位置에 있는 지점이 낮은 位置에 있는 지점보다 그 氣溫이 높게 나타난다. 외기의 溫度가 상승하면 도리어 氣流는 洞窟內部 끝에서 洞窟 밖으로 흐르며 급격한 溫度 상승을 억제하고 비교적 낮은 溫度를 유지하게 된다.

밤이되면 공기는 차지고 氣壓은 낮아진다. 그러므로 공기는 해가지면 洞

窟속으로 流入되고 태양이 뜨면 洞窟에서 流出하고 있다. 더구나 洞窟의 入口 부근의 氣流 移動은 현저하게 나타나고 있다.

洞窟地域 外部의 氣候와 洞窟内部와는 그 氣候樣相이 다르다. 地表에서는 外部의 영향을 많이 받는 관계로 수시로 氣候樣相이 다르게 나타나지만 洞窟속에서는 모든 지점에서 거의 비슷하고 일정한 氣候環境을 이루고 있는 것이 特徵이다.

### ① 洞窟의 一般的인 氣象 特性

洞窟은 地下에 밀폐되어 있는 공간이므로 周邊 地域과는 다른 氣象 特性을 갖는다. 즉, 洞窟은 日射와 직접적으로 차단되어 있으므로, 열의 교환은 入口를 통한 氣流의 移動이나 천정과 벽면으로 부터의 전도를 통하여 이루어지고 있다. 또한 洞窟은 降水 현상과도 차단되어 있으므로 内部의 습기량은 주로 천정이나 벽면으로부터 流入되는 주변의 地下水에 의해 결정된다. 그러므로 洞窟 内部의 氣象은 洞窟이 位置하는 곳의 緯度, 海拔高度, 季節 등과 地表에서 부터의 깊이, 규모, 형태, 入口의 수, 地質 등이 중요한 因子로 작용한다. 우리나라와 같은 온대몬순 氣候地域의 洞窟 氣象은 일반적으로 濕度가 높고, 氣溫의 연변화가 작은 것이 특징이라고 하겠다.

洞窟 内部의 氣流는 洞窟의 규모가 작은 경우, 외부와의 교환되는 氣流에 의해 影響을 받고 있다. 이러한 氣流의 移動은 계절에 따라서도 달라지는데, 겨울의 경우 주야간 모두 外部의 氣溫이 内部보다 낮으므로 外部의 空氣密度가 높게 된다. 그러므로 겨울철의 氣流는 항상 外部에서 洞窟 内部로 流入된다. 여름의 경우는 주간과 야간의 변화에 따라 氣流의 移動도 달라진다. 風速은 外部 大氣와의 溫度 차이가 큰 入口 부근에서 비교적 강하고 막장으로 갈수록 약해지지만 갑자기 폭이 좁아지는 경우에는 소용돌이 현상도 나타난다. 규모가 작고 入口가 양쪽으로 開放된 경우는 氣流의 移動 速度가 매우 약하여 측정이 곤란할 정도이며, 風向도 매우 가변적이어서 측정이 곤

란하다.

濕潤地域에서는 洞窟의 상부인 地表面이나 벽면을 통하여 공급되는 地下水가 느리게 移動하면서 洞窟에 영향을 미치고 있어서, 内部의 濕度는 90% 정도의 높은 값을 나타내며, 地表面의 건기와 우기에 따른 洞窟 内部의 濕度の 연변화는 10%정도로 거의 일정하게 유지되고 있다. 그러나 入口 부근에서는 外部 大氣의 영향으로 濕도가 낮다. 중부 내륙지방에 位置하는 洞窟에서 관측된 자료를 보면 洞窟의 入口 부근에서는 88%~90%, 入口에서 500m 정도 깊이 들어가면 95%~98%의 높은 濕도를 나타내는 것이 보통이다(표 1).

(표 1) 석회동굴의 기온과 습도 분포

(기온:℃, 습도:%)

동굴명	은달굴		고씨굴		성유굴		노동굴		고수굴		용담굴	
	거리(m)	기온	습도	기온	습도	기온	습도	기온	습도	기온	습도	기온
100m	15.5	82	15.5	88	14.6	93	14.9	88	15.6	87	13.8	85
200m	15.1	85	15.0	85	14.2	89	14.5	89	15.2	85	13.5	92
300m	14.9	88	13.5	89	14.1	92	14.2	84	14.8	89	14.2	94
400m	15.2	94	12.8	92	13.8	95	14.5	87	14.5	90	14.1	94
500m			13.1	97	14.0	98	14.6	90	14.2	92		
600m			14.9	97			14.0	97	13.9	96		
700m			14.1	98								

일반적으로 洞窟 内部의 氣溫 特徵은 일변화와 연변화가 거의 나타나지 않는다. 溫帶氣候地域에 分布하고 있는 洞窟의 경우는 여름철의 平均 氣溫은 16℃ 정도, 겨울에는 13℃ 정도로 알려져 있다. 우리나라 洞窟에서 관측

된 자료(그림 표 1)에 의하면, 石灰洞窟은 入口에서 300m 이상 진입한 지점에서  $12^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ (1986년 4~10월의 평균값), 熔岩洞窟에서는 평균적으로  $15^{\circ}\text{C}\sim 17^{\circ}\text{C}$ (1985년 7, 8월의 관측치)이다.

洞窟의 入口 부근에서는 周邊 大氣와의 열교환이 이루어지므로 外部와 거의 비슷한 氣溫의 일변화와 연변화가 나타난다. 그러므로 入口 부근에서는 氣溫과 벽 溫度와의 차이가 뚜렷하다. 그러나 점차 洞窟안으로 진입하면서 벽의 溫度와 内部의 氣溫이 거의 비슷하게 된다. 즉, 洞窟의 깊은 곳에서는 열교환이 氣流의 移動에 의해서 보다는 전도에 의해서 이루어지므로 洞窟 벽의 溫度가 内部의 氣溫을 결정하는 주요 因子로 作用한다.

열수지면에서 보면 지하 1m 정도 부터는 水平的인 열교환량은 0에 가까우므로 거의 일정한 溫度를 나타낸다. 内部에서도 전도를 통하여 가해지는 열량과 다른 곳으로 전도되는 양이 거의 均衡을 이루고 있으므로, 전도에 의한 열교환이 거의 없는 상태가 되어 氣溫의 日變化는 매우 작다.

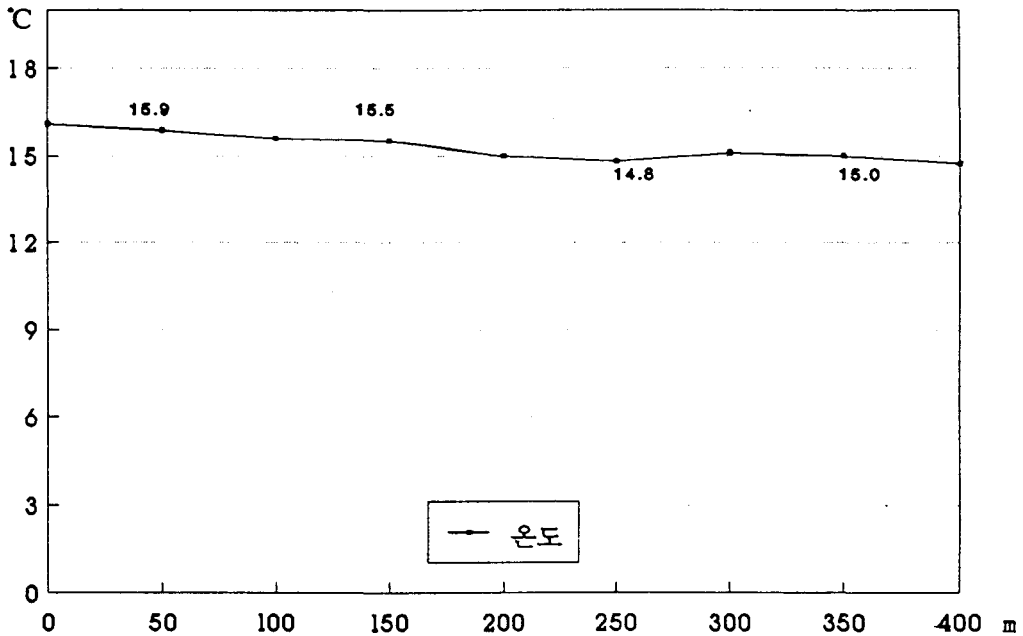
기존의 관측 결과에 의하면 洞窟 外部에서의 일교차가  $10^{\circ}\text{C}$  정도이면 洞窟 内部에서는  $1^{\circ}\text{C}$  정도의 일교차가 나타난다고 한다. 洞窟의 氣溫은 位置하는 지점의 緯도와 海拔高度에 영향을 받는다.

濟州道 洞窟에서 측정한 바에 의하면 한라산의 산간지대에 위치한 구린굴(해발 700m)은 内部의 氣溫이 海岸 저지대에 分布하는 협재굴, 금녕사굴 등보다  $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$  낮게 나타나고 있는데, 이는 저지대의 洞窟 氣溫이 高地帶의 洞窟 氣溫보다 높게 나타난다는 것을 뜻한다.

洞窟内部의 水溫은 分布하는 地域에 따라 약간의 차이를 보이지만, 대체로  $12^{\circ}\text{C}\sim 16^{\circ}\text{C}$  이다. 계절별로는 여름이 겨울보다  $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$  높게 나타나며 入口에서 멀리 떨어질 수록 水溫의 季節 변화는 적게 나타난다. 洞窟의 種類別로는 溶暗洞窟에서의 水溫이 石灰洞窟에서보다  $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$  낮다. 이는 熔岩洞窟의 構造가 단순하여 外部에서 流入되는 氣流를 차단할 수 있는 장애

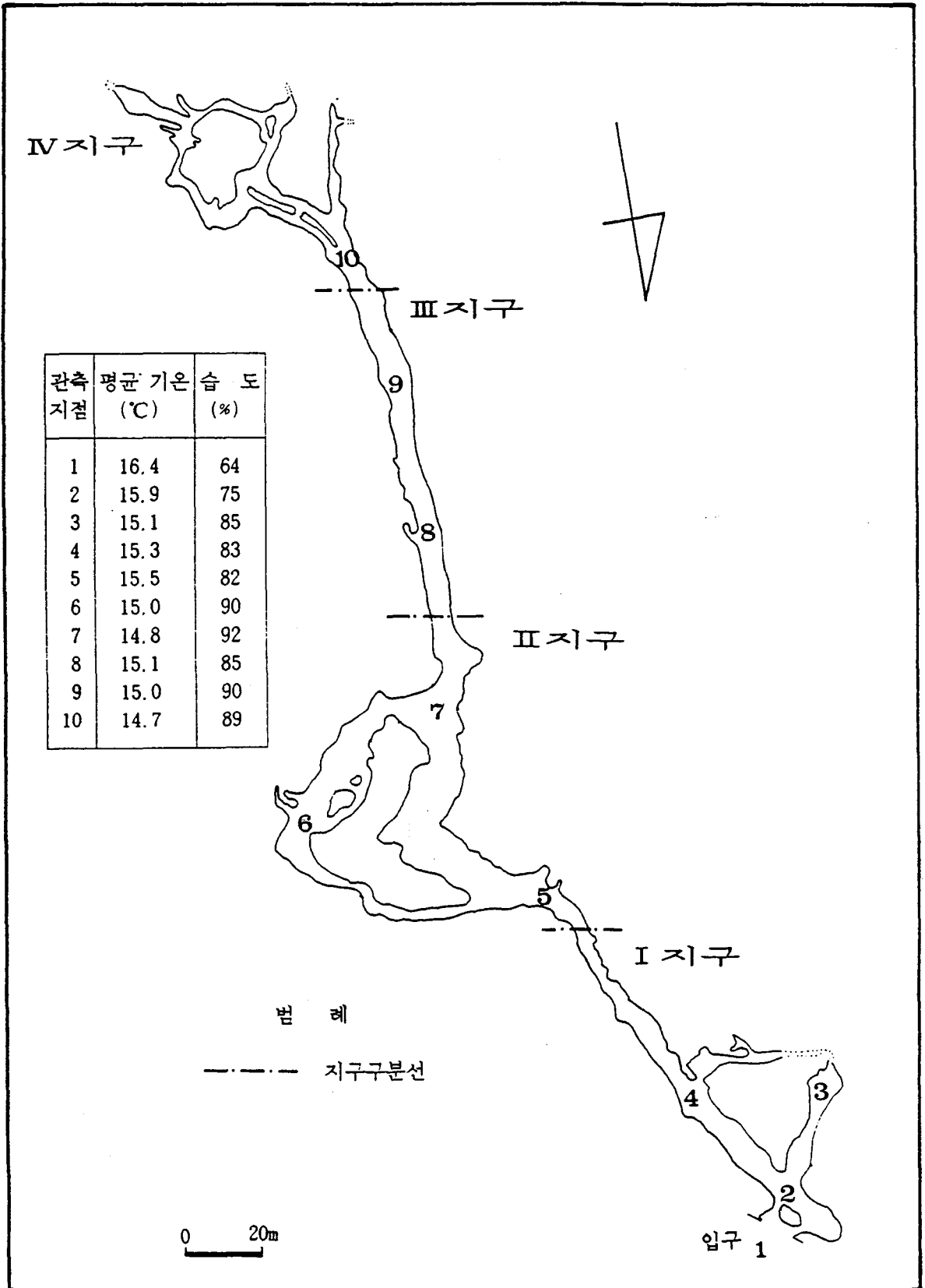
물이 적은 반면, 石灰洞窟의 경우는 대부분 미로형의 복잡한 多層構造를 이루고 있어서 外部의 氣流가 차단되고 있기 때문이다.

溫達窟의 경우 洞窟入口가 비교적 작으며, 洞窟의 막장까지 거의 일직선의 형태를 나타내고 있기 때문에 水溫에도 영향을 미치고 있는 것으로 보인다. 洞窟 入口部에서 湧出하여 흘러나오고 있는 상태이긴 하지만 다른 地域보다 높아 약 2°C 정도 높게 나타나 洞窟內에서는 16.5°C, 洞窟 入口에서는 18°C를 나타내고 있다. 이는 洞窟內를 흐르고 있는 물이 地表 표면에서 곧 洞窟內로 湧出하고 있는 상태를 암시하고 있는 것으로 판단된다.



(그림 1) 온달굴의 거리에 따른 온도 변화

여기서 洞窟入口에서 부터 출구까지 거리를 기준으로 하여 조사한 결과를 바탕으로 작성한 그림 1은 거리에 따른 기온의 변화를 나타낸 것이다. 거리



(그림 2) 은달굴의 기온 및 습도 분포도

에 따라서는 지속적으로 감소하다가 100m 지점 이후에는 溫度의 변화는 거의 없는 상태이다. 洞窟의 季節別 氣溫을 살펴보면 여름철에는 出口 또는 入口에서 中間部分까지는 감소하다가 다시 증가하는 형태를 보이며, 겨울철에는 이와 반대의 영향이 나타난다.

즉 石灰洞窟은 節理나 單層을 따라 成長 發達하거나 또는 암반의 崩락으로 넓은 공간이 형성되는 경우 이 공간은 밖의 공기가 流通하는 通路가 되는 것이다. 이는 洞窟內部와 地表와의 溫度의 차이에 의하여 공기의 대류현상이 일어나기 때문이다. 溫達窟에서의 水溫은 15°C 내외이고 계절적 변화도 0.6°C 내외로 水溫의 季節別 變化는 크지않다.

洞窟 內部の 氣象條件은 洞窟의 二次生成物의 형성에는 물론 生物相의 존재 및 그 分布 特徵을 결정 짓는 중요한 요소이다.

洞窟의 環境 조건중 적합한 濕度의 維持는 洞窟 形成部의 生成發達에 있어서 濕度는 90% 내외이며, 전체적인 濕度 變化는 10% 内外로 대체로 恒濕이 維持되고 있다고 보겠다.

이러한 恒濕의 조건에 가장 큰 영향을 주는 것중의 하나는 公開洞窟의 경우에 照明燈이 문제가 된다. 따라서 溫達窟의 경우는 아직까지 濕度의 問題는 크지않다.

### 3. 洞窟의 水質

洞窟內의 水溫은 季節에 따라 다소 다르게 나타나지만 年中 變化는 3°C~5°C 정도에 불과하다. 調査에 의하면 대체로 溫達窟의 水溫은 15°C~16°C를 나타내고 있으며 冬季에는 12°C~13°C 정도로 여름철에 비하여 2°C~3°C 낮아지게 된다.



(표 2) 온달굴의 수질조사 분석표

지점 번호	수온 ℃	pH	CaCO <sub>3</sub> ppm	Na ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Fe ppm	Alkali -nity	SO <sub>4</sub> ppm	PO <sub>4</sub> -P ppm	SiO <sub>4</sub> ppm
1	15.0	7.9	157.6	1.8	0.18	0.35	48.7	ND	128	15.4	0.62	0.27
2	15.2	7.6	155.4	2.0	0.20	0.33	53.1	ND	133	15.0	0.48	0.30
3	16.0	7.0	153.2	2.3	0.18	0.38	50.6	ND	130	14.9	0.51	0.34
4	16.5	7.5	149.1	2.5	0.21	0.41	49.7	ND	132	14.2	0.58	0.39
5	18.0	7.3	158.7	2.1	0.18	0.39	49.6	ND	126	14.3	0.55	0.38

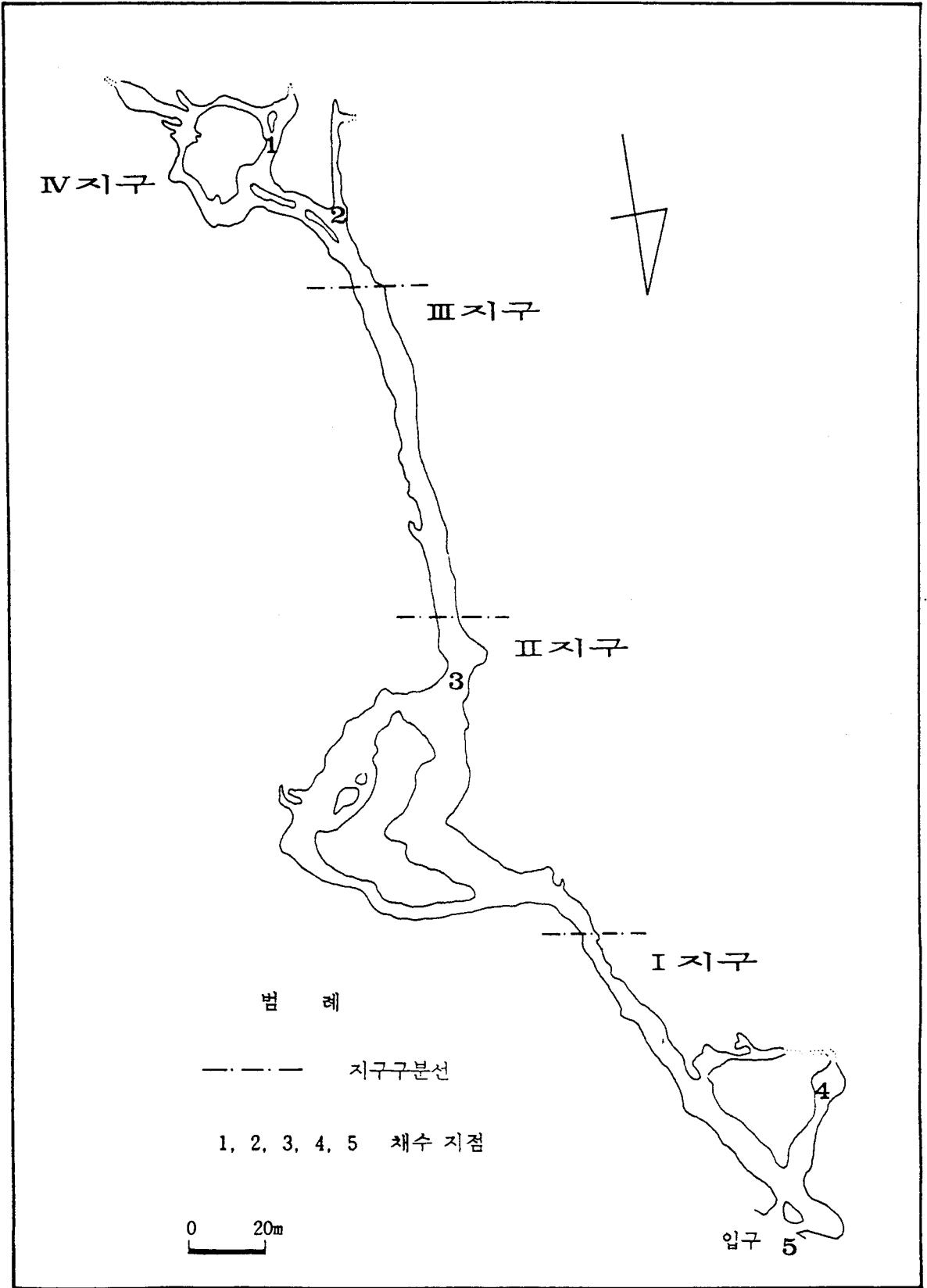
(ND : NO DETECT)

洞窟의 水質에서 수소이온농도(pH)는 7~8사이를 나타내 中性에서 크게 벗어나지 않는 것으로 나타났다. 즉 洞窟의 水質에서 pH값은 대부분의 石灰 洞窟에서 나타나는 것과 같이 中性으로 上水源水 基準에 의하면 pH값 만으로는 1급수에 해당되는 것이다.

硬度는 洞窟内部에서는 150-160mg/l 정도로, 外部에서는 그보다 다소 낮게 나타났으나, 이것은 季節과 流量에 따라서 주변의 石灰岩 地帶를 흘러나온 流出水가 많으면 약 2배까지 올라가는 수도 있다.

Na는 대개 1~2ppm으로 전 地域에 걸쳐서 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며 PO<sub>4</sub>-P는 1ppm 미만으로 나타나 주위 인근지역에서 産業廢水나 生活廢水가 크게 유입되지는 않는 것으로 나타났다.

이것은 본 洞窟 주위에 廢水를 배출한만한 큰 汚染源이 없기 때문이다.



(그린 3 ) 온달굴의 수질관측 지점

Mg는 0.05ppm 미만으로 전반적으로 다른 洞窟에서 나타나는 값과 비슷하게 나타났다. 한편 알카리도는 120~130 内外로 나타났으며 SiO<sub>4</sub>는 0.5ppm 미만으로 다른 石灰洞窟과 비슷하게 나타났고, 洞窟内部는 外部보다 石灰岩의 影響으로 조금 높게 나타났다.