

고씨동굴의 환경오염에 관한 조사연구

문화재위원 홍 시 환
학회 사무국장 변 대 준

I. 서론

洞窟이 開發될 때에는 반드시 그 環境도 파괴되고 洞窟 生成物들의 汚損 汚染도 각오하여야 한다. 즉, 鍾유석은 일차로 開發하거나 내부 시설을 할 때 파손되었고 이차로는 관광객에 의하여 汚損되고 다시 삼차로는 鍾유석의 성장에 따라 증력에 의하여 天井의 지반이 약화되거나 또는 상층 지반의 岩石이 板狀을 이루거나 層狀으로 되어있어 洞窟 바닥으로 落盤되어 파손되기도 한다. 그리고 최근에는 관광개발된 이후에도 사회생활의 안정에 따라 취미 삼아 水石, 장식품 등으로도 鍾유석이 환영받고 있으므로 洞窟속의 鍾유석이나 석순은 남몰래 파손되어 가고 있는 것이다.

사실상 고씨동굴의 경우는 벌써 기록상으로 보아도 이미 三國時代대에 군사통로 연안에 해당되고 있었다는 사실, 그밖에도 여러차례 국내의 난리로 말미암아 이때마다 피난처로 이용되었음으로 보아 그 자연의 原狀을 그대로 保全해 왔다고는 지극히 볼 수 없는 것이다. 즉, 洞窟이 개발되면 그 이차 생성물들은 계속적으로 汚損, 汚染되어 간다. 이것은 입동객, 洞窟내의 시설공사에도 크게 관계가 있다고 하겠다.

II. 퇴적물의 오염과 오손

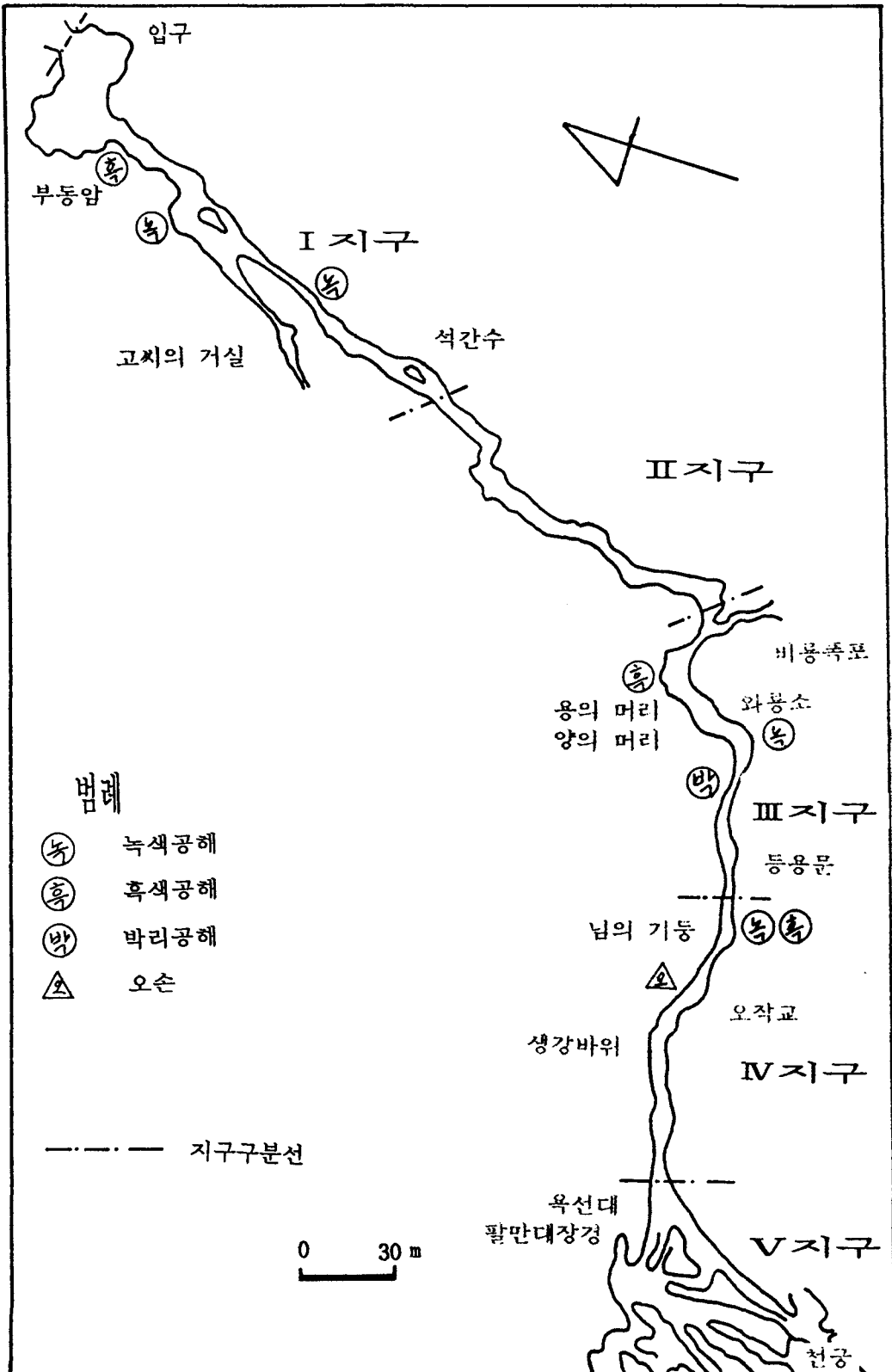
고씨동굴에서 볼 수 있는 일반적인 퇴적물 즉, 석순 등의 오손의 경우는 그 대부분이 인위적인 훼손에 기인되었다고 볼 수 있다. 그러나 이 고씨동굴지역이 지니고 있는 지질구조의 판상구조적 암석층 즉, 층서면이 잘 발달되고 있는 암층과 이에 가해진 지각변동에 의한 심한 습곡운동 등에 의한 고씨동굴 내부 천정, 동굴벽 등의 지질구조가 자연 파괴, 낙반, 훼손 등의 현상을 일으키고 있는 원인의 하나가 되고 있기도 하다. 그밖에 오염 즉,

동굴퇴적물의 오염현상은 동굴환경의 급격한 변화 특히 건조하고 고온, 집중적인 조명 등의 작용에 의하여 녹색공해, 백색공해, 박리공해 현상이 나타나고 있다. 그리고 동굴 주변과 내부에서의 무질서한 관광객의 관람으로 인하여 동굴내외부의 각종 오손 및 오염이 일어나기도 한다.

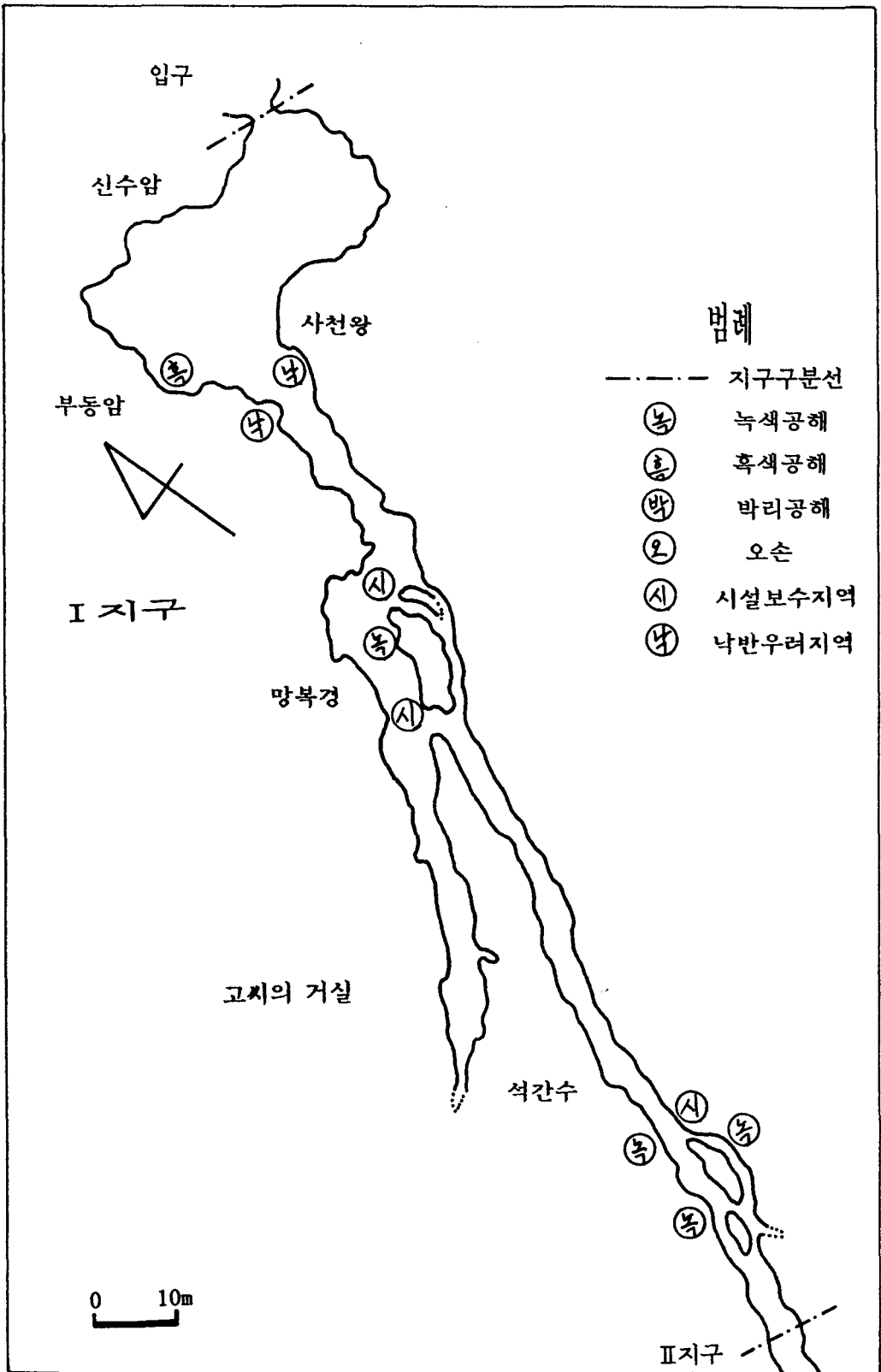
사실상 고씨동굴의 경우는 관광동굴로 개발되기 아주 오래전 부터 동굴의 출입이 잦았으므로 동굴의 오염과 오손도 오래된 일이지만 그 오염과 오손의 정도는 관광동굴로 개발되기 시작하면서 개발공사, 시설공사, 보수공사 등으로 인하여 급속히 진행되었다고 할 수 있다.

최근에 발생한 것으로 보이는 퇴적물의 훼손이나 파손은 거의 없는 것으로 보이고 있다. 그러나 앞서서도 언급한 바와같이 관광객의 출입으로 인한 동굴 내부의 기온상승, 저습도, 집중적인 조명시설에 의한 녹색공해, 흑색공해, 백색공해, 박리공해와 같은 환경공해가 일어나고 있음을 알 수 있다. 고씨동굴의 환경오염 및 시설, 낙반의 우려지역 등을 종합하여 그림 1에 나타냈으며 그림 2 부터 그림 6까지는 고씨동굴을 5개 구역으로 나누어 자세하게 분포도를 작성하여 나타내었다. 퇴적물의 오손은 근래에 행하여진 흔적을 찾아보기 어려웠다. 그러나 퇴적물의 오염은 조명시설의 미비, 좁은 통로 또는 보호망의 미설치 등에 의해서 이루어지고 있는 실정이다. 조명시설로 인한 녹색공해, 다습하지 못하고 건조한 환경에 의한 박리공해가 이어나고 있으며, 좁은 통로에 의해서 많은 관광객들이 손으로 퇴적물을 직접 만지게 되므로 일어나는 흑색공해 등이 있다.

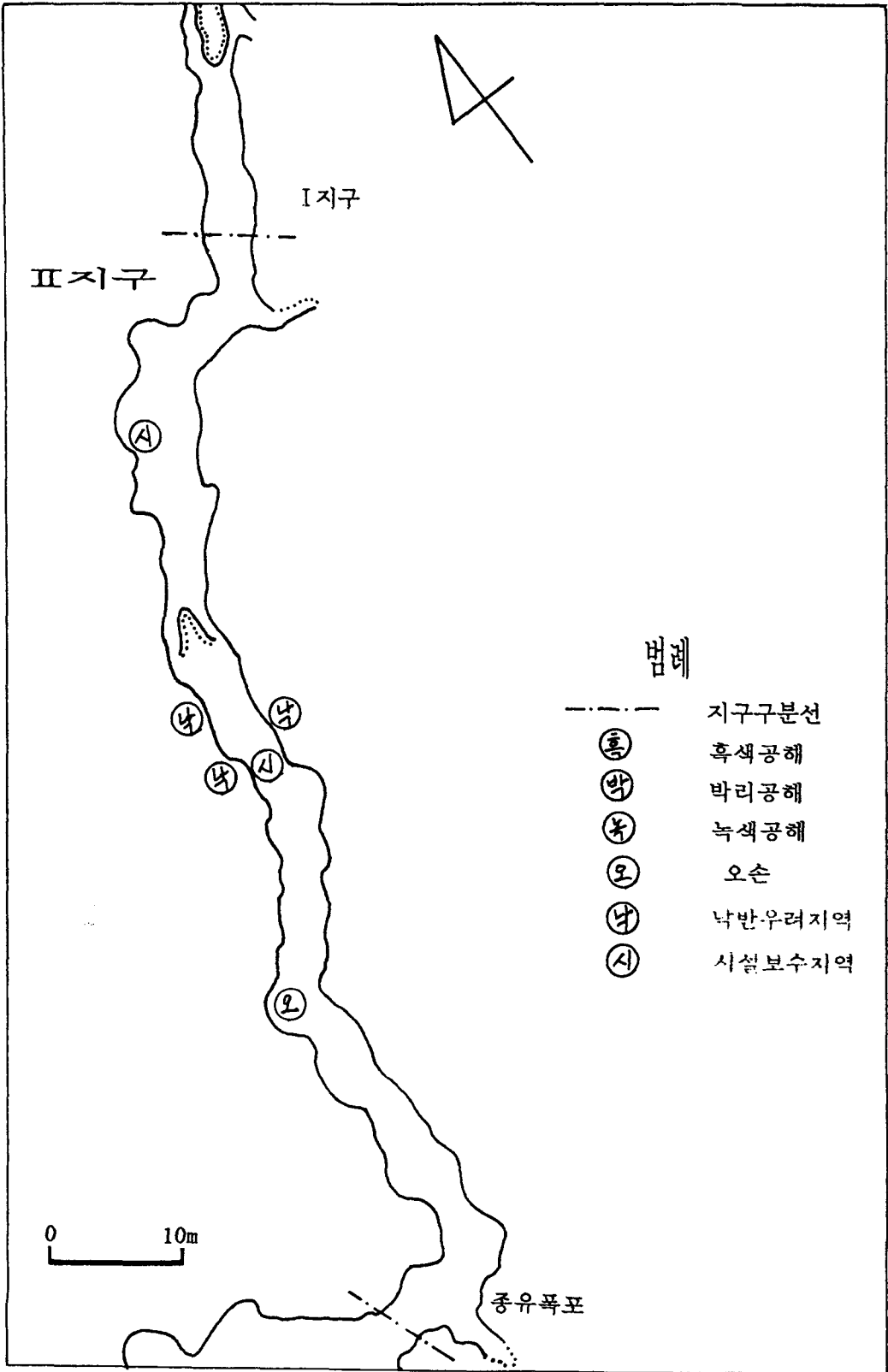
녹색공해의 경우 동굴 내부의 곳곳에서 발생하고 있는데 특히 백운폭포의 상태는 심각한 실정이다. 박리공해의 경우는 습도에 직접적인 영향을 받고 있으므로 동굴호소 부근이나 습도가 높은 지역을 제외하고는 조금씩 발생하고 있다. 흑색 공해의 가장 대표적인 사례는 님의 기둥으로서 이 퇴적물들 사이에 두고 좁은 통로를 관광객들이 이를 만지면서 지나갈 수 밖에 없도록 되어 있어 그 상태가 심각한 편이다.



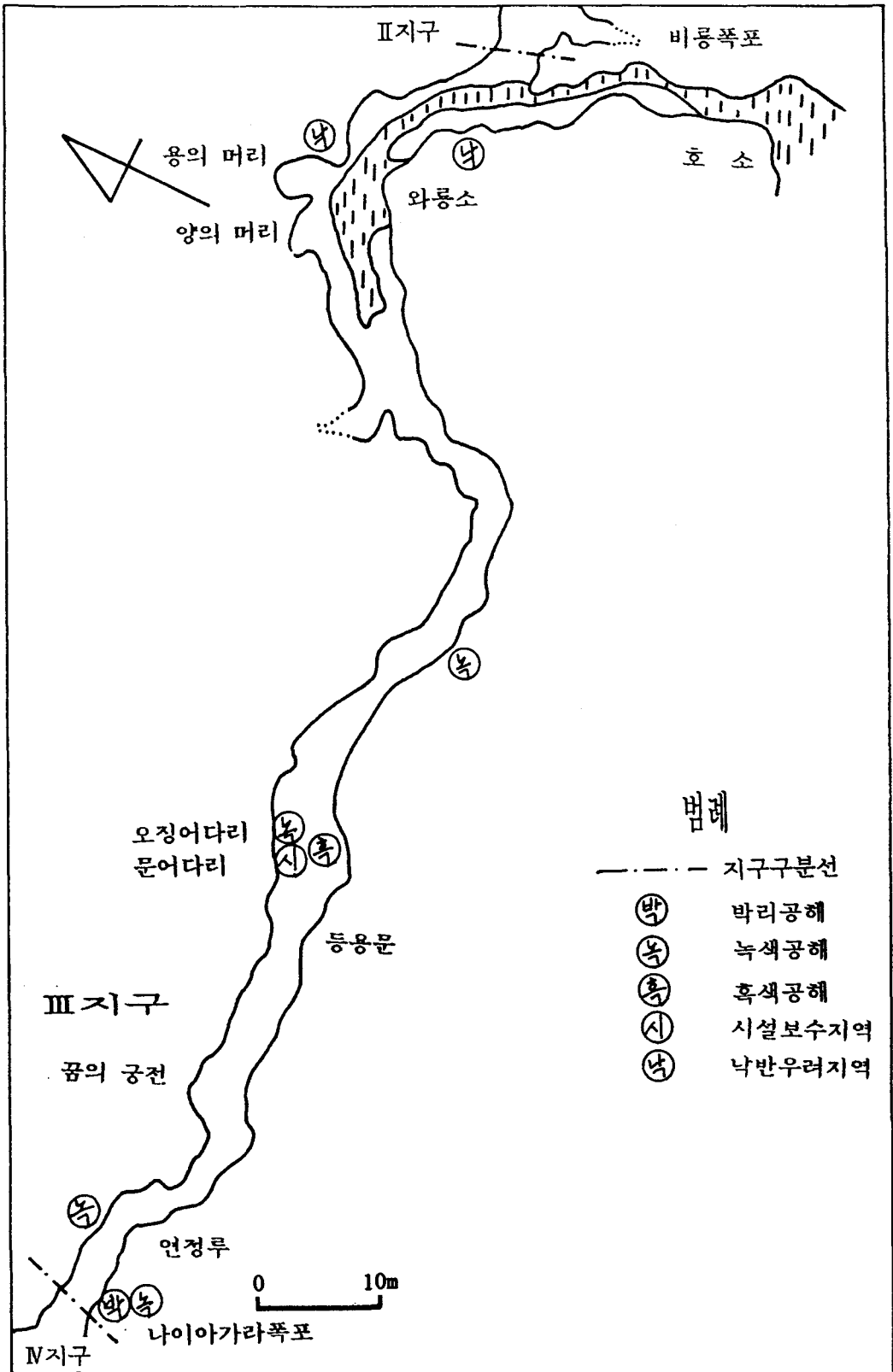
(그림 1) 조사지역의 오염 및 오손 분포도



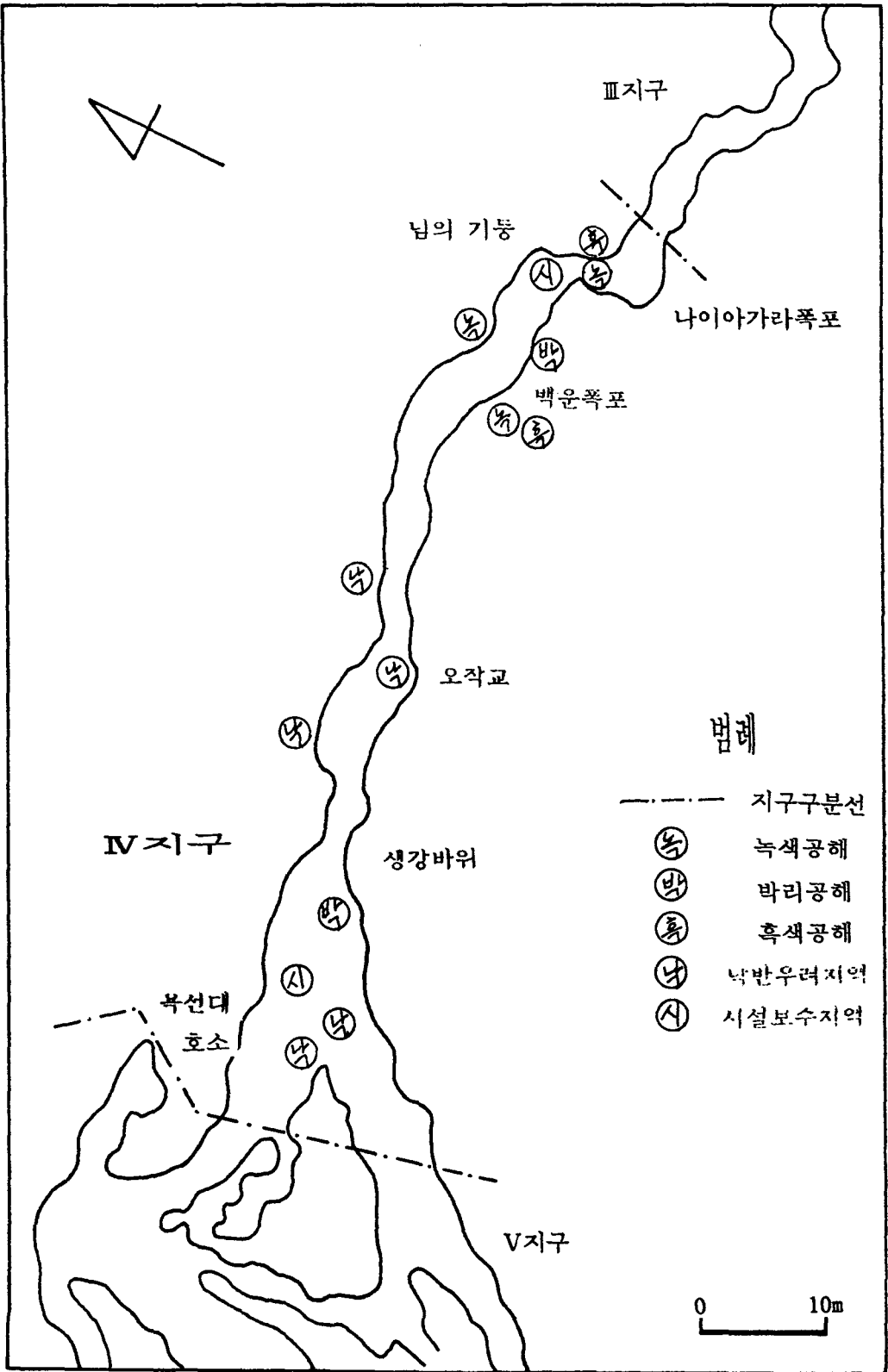
(그림 2) I 지구의 환경조사도



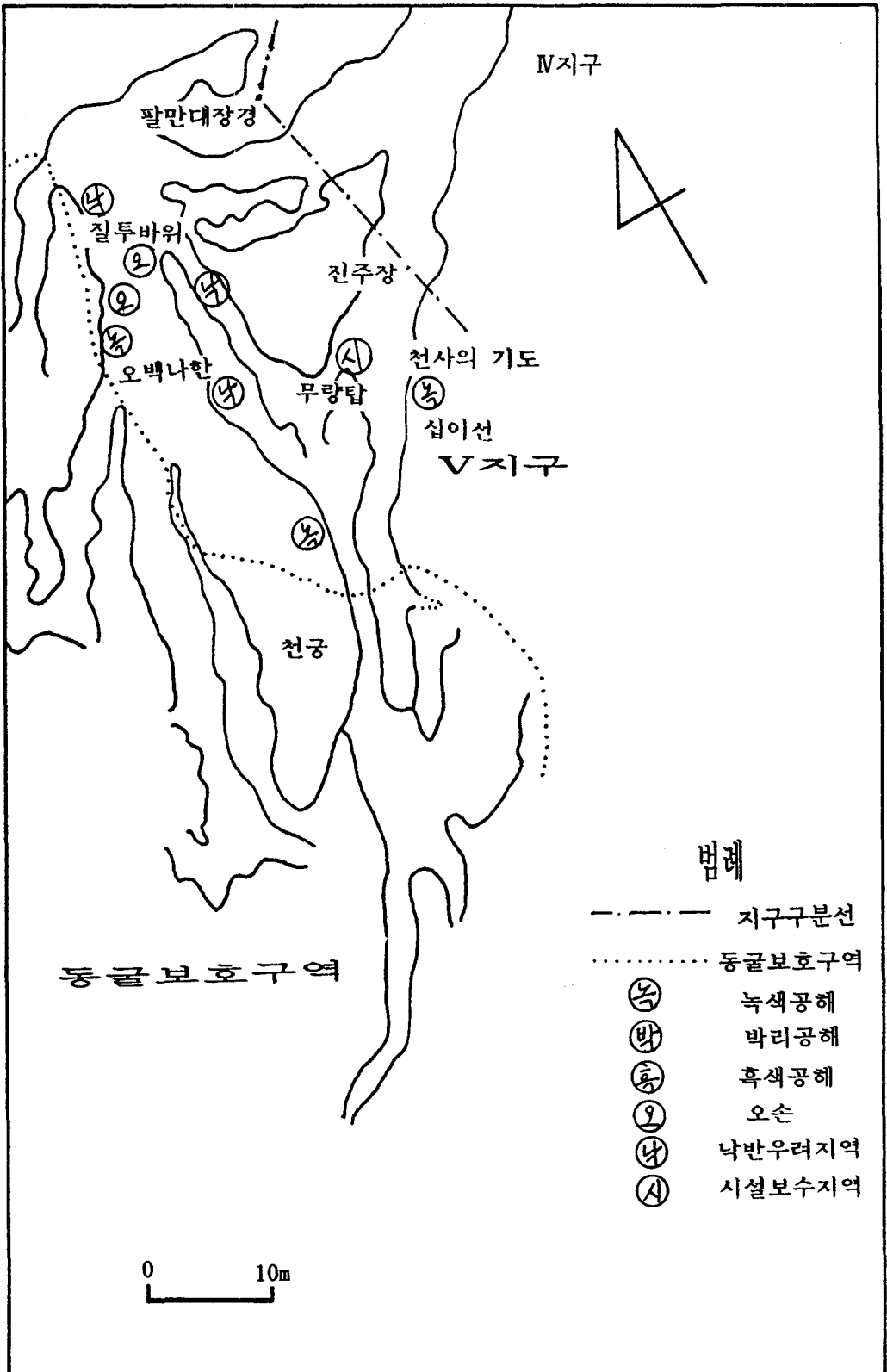
(그림 3) II지구의 환경조사도



(그림 4) III지구의 환경조사도



(그림 5) IV지구의 환경조사도



(그림 6) V지구의 환경조사도

Ⅲ. 고씨동굴의 대기오염

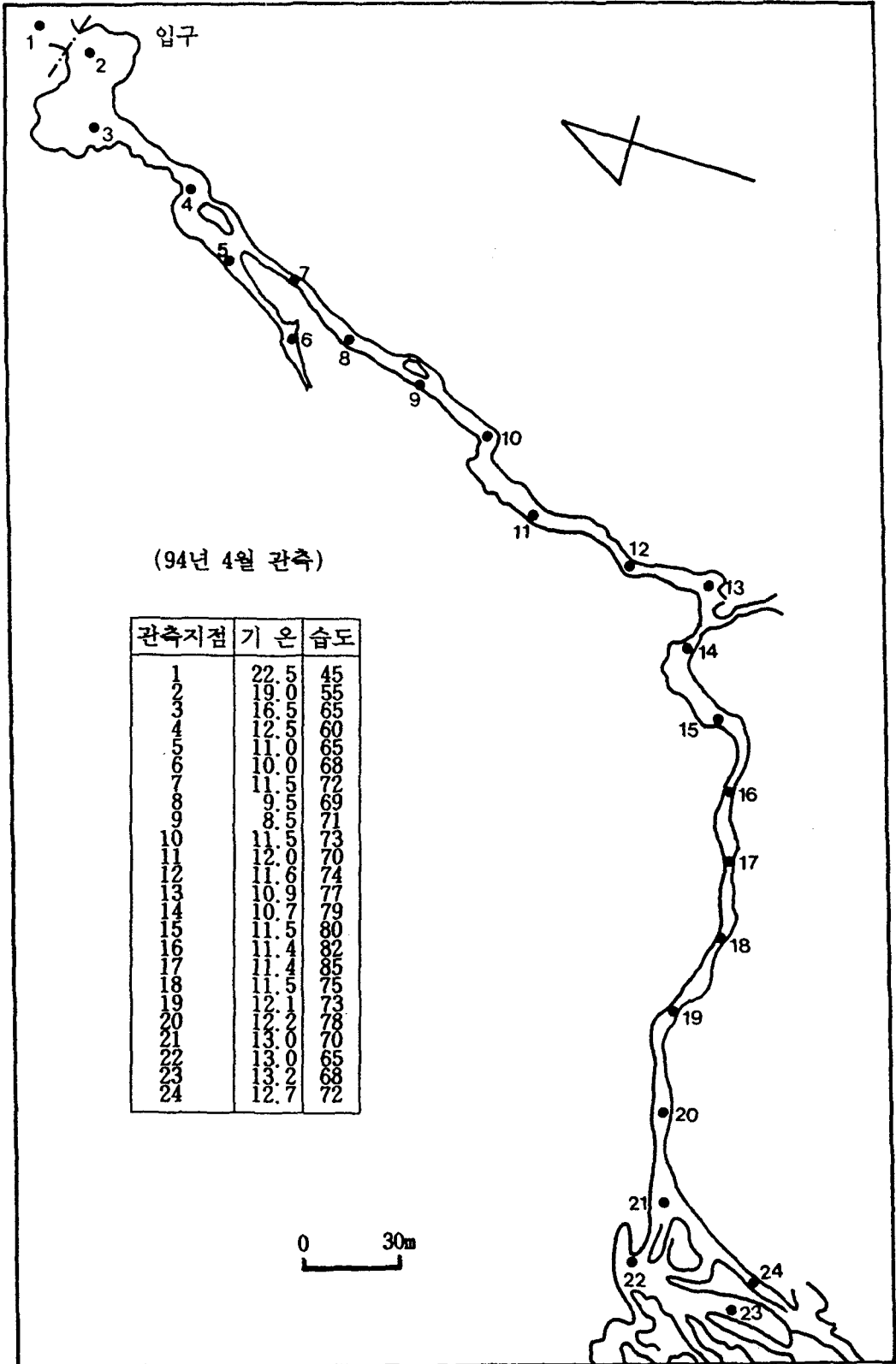
고씨동굴의 경우는 그 내부 공간의 넓이나 규모등으로 보아 대체로 대기의 오염 현상은 일어나지 않는 것으로 보고있다. 즉, 大氣汚染은 일차적인 것과 이차적인 것의 두가지 경우가 주로 있는데 일차적인 것은 인간이 洞窟 내에서 내뿜는 이산화탄소 또는 洞窟속에서 발산 시키는 아황산개스와 같은 일차적으로 방출된 것을 말하고 이차적이란 이들의 복잡한 성분들이 서로 화학반응을 일으켜 이차 재생산적인 공해작용을 일으키는 것을 말한다.

洞窟은 그 내부 규모에 따라서 최대 入洞 인원이 달라진다. 즉, 대기오염이란 주로 인위작용에 의한 오염물질의 발산에서 오는 것으로 그 오염 기준은 막연하다.

소규모의 작은 洞窟속에 동시에 많은 관람객이 들어가면 洞口가 좁아 外氣와의 신선대사가 잘 이루어지지 못하므로 가벼운 두통이나 현기증을 느끼게 되는 것은 洞窟내의 大氣質에 변화가 있었기 때문이다. 요컨대 洞窟의 濕度가 높고 일정하다는 것은 恒溫, 恒濕의 환경요인을 이루고 있는 것이다. 다만 洞窟入口 부근에서 濕度가 매우 높기 때문에 증화되는데 이는 洞窟 内外의 溫度가 각기 다르게 나타나기 때문이다. 氣溫이 낮아짐에 따라 濕度는 상승하고 溫度가 높아짐에 따라 濕度는 감소되기 때문이다. 즉, 야간의 공기는 태양열로 氣溫이 높아지게 되어 밀도도 적어지고 기압도 낮아진다. 그 반면에 야간에는 공기가 냉각되어 기압이 올라가게 된다. 따라서 통상 공기는 일몰후에는 洞窟내에 外氣의 공기가 유입되고 일출후에는 洞窟의 大氣가 洞窟 밖으로 유출되는 것이다. 이의 경우는 고씨동굴의 경우에 있어서도 마찬가지로 현상이 나타나고 있다.

다행히도 고씨동굴의 입구는 넓고 커다란 공간을 이루고 있다고는 하나 이는 동굴 내부에 들어서면서 동굴속과 차단시키고 있는 동굴지반구조를 지니고 있기 때문에 커다란 변화요인은 되지 않고 있는 것이 사실이다.

사실상 계속적으로 기압의 변화를 가져오는 관계로 이 기압의 차이 때문에 대기의 異狀현상이 일어나게 마련이다. 그러므로 洞窟에 있어서도 洞窟入口가 있어서 그 外氣의 공기가 洞窟내 공기속으로 침투는 많은 관람객이 入洞하고 있을 경우 이들의 영향을 받아 기류의 이동을 감퇴시키고 있다.



(그림 7) 동굴의 기온 및 습도분포도

이와같은 洞窟내의 기류 이동은 비교적 洞窟環境 변화에 커다란 영향을 준다고 연구되어져 있는 실정이다. 따라서 고씨동굴의 경우는 300m 지점까지의 동굴통로가 좁아 이 통로에서 초속 6m 이상의 최대풍속이 나타나며, 등용문을 지나 님의 기등 지역이나 몇몇 좁은 통로지역에서는 초속 4m의 풍속이 나타난다. 그러나 그밖의 지점에서는 洞窟의 규모가 크기 때문에 커다란 기류의 이동이 적어 環境 변화에 큰 영향을 미치지 않는것으로 나타났다.

IV. 고씨동굴의 수질오염

水質汚染이란 홍수때의 水質의 혼탁, 채탄지역에 있어서의 분진 또는 도양(탄질)이 유수에 혼합되어 汚濁되는 경우와 광산, 온천수의 지질에 의한 산성화나 중금속의 流水 등의 자연적인 요인과 가정에서의 생활하수, 공장에서의 배출하수 그리고 오물의 埋沒 등에 의한 인위적인 요인 등으로 公共水域이나 一般水域의 물이 물리적, 화학적 그리고 생물학적으로 水質이 불리한 방향으로 변화되어가는 것을 가리킨다.

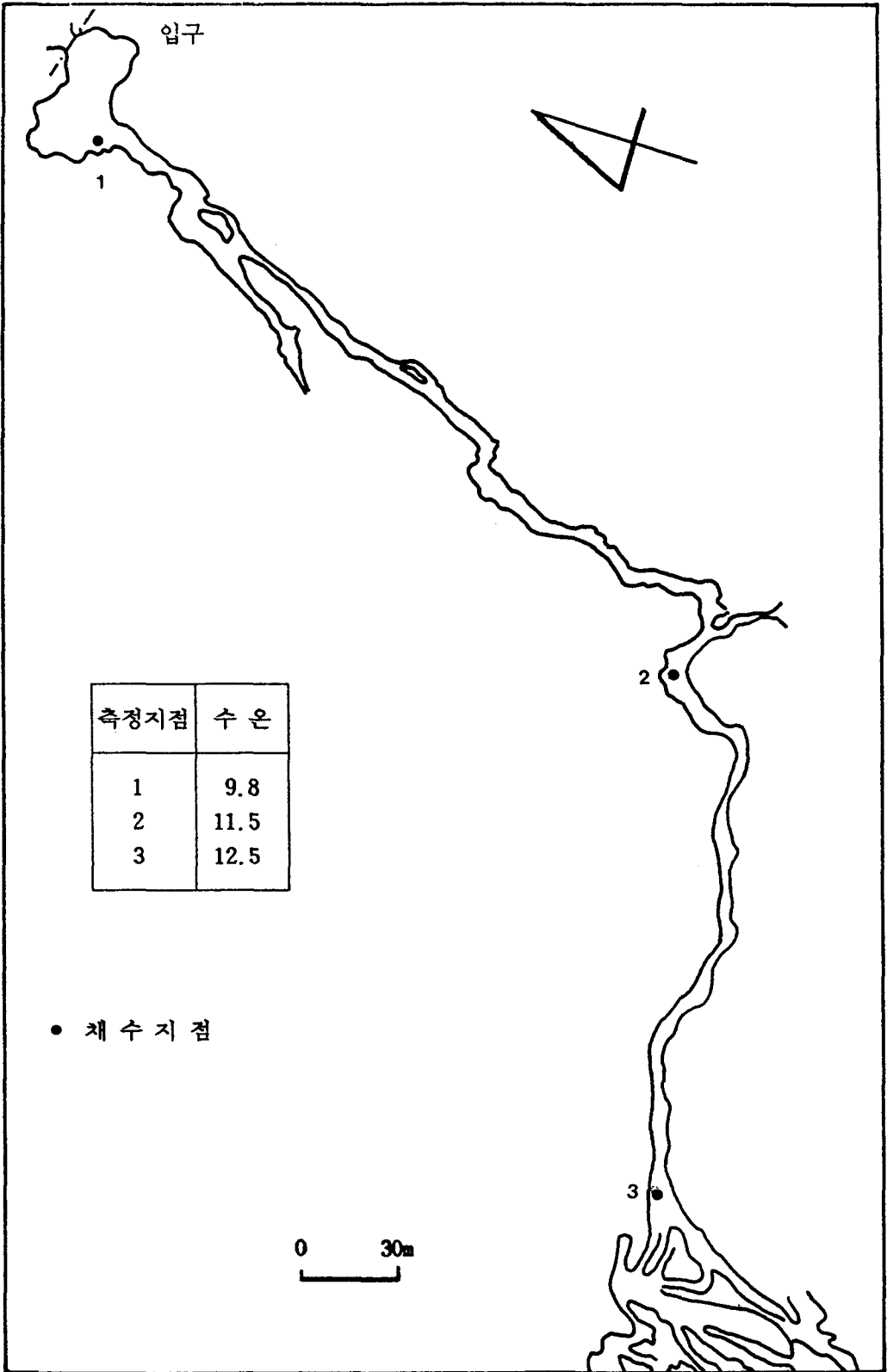
고씨동굴의 경우 이 동굴 입구의 바닥면의 높이가 남한강 수위면이 홍수위에 달할때 보다 높으므로 남한강의 물이 고씨동굴속으로 유입될 가능성은 매우 희박한 것으로 측정되고 있다.

다만, 동굴 지표면에 산재하고 있는 대소 5개 내외의 돌리네 지역으로 스며드는 지표수가 강수계절에 동굴속에 스며든 물이 동굴수류에 합류되면서 동굴 지하수로 되고 있는데 동굴 지표의 상태가 오염되어있지 않기 때문에 동굴 수질의 오염은 심하지 않는 것으로 보고 있다.

그러나 洞窟을 관람하는 관광객들에 의하여 放尿, 오물, 담배꽂초 등을 버리는 경우에 洞窟내 水質汚染의 원인이 되고 있다. 따라서 위와같은 洞窟내의 인위적인 汚染만을 주위하면 큰 水質汚染은 방지할 수 있다.

본 지역의 시료의 채수와 현지답사는 1994년 4월 17일 시행되었다. 水質 분석을 위한 시료의 채수는 洞窟 내부에서 3개 지점, 洞窟에 인접한 하천의 1개지점에서 채수하여 각각 분석하였다.

洞窟 내부의 채수지역은 洞窟 안쪽에서 부터 부동암 부근, 양의 머리 부



(그림 8) 동굴내 채수지점과 수은 분포도

근, 육선대 부근이다.

분석항목 중, 수온, 전기전도도, pH, RpH와 중탄산이온(HCO_3^-)은 알카리 소비량 측정법에 의해서 구했으며, 총경도, 칼슘이온(Ca^{+2}), 마그네슘이온(Mg^{+2})은 EDTA법, 염소이온농도(Cl^-)는 질산 第2수은법에 의해서 측정되었다. 그 외의 항목들은 ICP에 의해서 분석하였으며 분석결과는 다음과 같다.

수온은 洞窟 내부지점에서는 대개 11°C 에서 12°C 를 나타내고 있으며, 하천의 수온은 14.5°C 이다. 洞窟 내부에서의 溫度는 심층지하수와 비슷한 溫度를 나타내고 있음을 알 수 있지만, 하천에서의 水度는 洞窟 내부보다 다소 높은 溫度를 나타내고 있다. 따라서 水溫을 기준으로 할 때, 洞窟 내부의 물은 상당히 두꺼운 지층을 통과해서 출현하고 있는 것이거나, 상대적으로 매우 얇은 층을 통과하는 지중수일 가능성이 있지만, 洞窟이 형성되고 있는 지역의 배후에 높은 고도의 산들이 형성되고 있고, 洞窟 내부에 많은 양의 물이 존재하며, 석회암지역의 특성을 고려할 때, 전자인 심층 지하수일 가능성이 높다. 洞窟에 인접한 남한강에서의 水溫은 洞窟 외부의 대기 온도와의 접촉에 의해 상대적으로 높은 것으로 생각 된다.

pH는 거의 동일한 7.5에서 7.7이고 남한강에서는 7.3으로 모두 중성을 나타낸다. 석회암의 용식에 의한 영향으로 물이 지층을 통과하는 동안에 함유하게 된 중탄산이온(HCO_3) 함량의 차이에 의해서 pH가 달리 나타나는 것으로 보여진다.

중탄산이온 함량의 차이를 전기전도도와 비교한다면, 본 지역의 시료들이 포함하고 있는 음이온의 대부분은 중탄산이온의 양이 차지하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 이것은 상대적으로 낮은 염소이온농도로도 설명되어질 수도 있다. 낮은 염소이온 농도는 본 지역이 세척용으로 사용된 생활용수 및 공업용수의 영향을 매우 적게 받고 있다는 것을 알 수 있다.

총경도는 매우 높은 값을 나타내고 있어 석회암 지질구조의 영향을 강하게 받고 있음을 알 수 있으며, 칼슘이온과 마그네슘이온에 관한 분석결과를 살펴 보면, 본 지역의 石灰岩은 상대적으로 마그네슘의 함량이 많은 돌로마이트일 가능성이 높은 것으로 인정된다. 남한강에서 상대적으로 낮은 농도

를 나타내는 것은 이 지역의 상류부에 부존하는 石灰岩이외의 지질구조를 흘러내리는 하천수와 강수의 영향에 의한 것으로 판단된다.

알카리토 금속이온과 금속이온들의 함량은 매우 적은 상태이다. 망간(Mn), 아연(Zn), 납(Pb), 수은(Hg)과 나트륨(Na)은 검출되지 않고 있으며, 철(Fe)는 미량으로 검출되고 있다. 그러나 물에 용존되어 있는 상태에서 동식물에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 알루미늄(Al)은 현재로는 소량 검출되고 있다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 본 지역의 물은 약알카리성을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다.

표 1. 고씨동굴 内部와 인접 河川의 水質分析表

항목 지점	남한강	A	B	C
수온	13.5°C	9.8°C	11.5°C	12.5°C
pH	7.7	7.6	7.5	7.5
전기전도도	219 cm/sec	197 cm/sec	178 cm/sec	166 cm/sec
총경도	180 mg/l	160 mg/l	130 mg/l	127 mg/l
Ca	50.3 mg/l	45.3 mg/l	37.6 mg/l	32.4 mg/l
Mg	110.7 mg/l	101.7 mg/l	92.5 mg/l	90.4 mg/l
Cl	5.7 mg/l	6.2 mg/l	4.3 mg/l	4.2 mg/l
HCO ₃	176.6 mg/l	140.4 mg/l	96.2 mg/l	88.8 mg/l
Fe	0.4 mg/l	0.3 mg/l	0.1 mg/l	0.1 mg/l
Na	ND	ND	ND	ND
Al	0.1mg/l	ND	0.2 mg/l	0.2 mg/l
Mn	ND	ND	ND	ND
Zn	ND	ND	ND	ND
Hg	ND	ND	ND	ND
Pb	ND	ND	ND	ND

(ND: No Detect)

관측지점: A(부동암 부근), B(양의 머리 부근), C(육선대 부근)

사실상 洞窟내의 水質은 원칙적으로 오염되서는 아니되는 것으로 진동굴성 생물의 서식에 크게 관계되고 있는 것이다.

뿐만아니라 많은 관광객들의 洞窟내에서의 무심코 버리는 건전지, 휴지

등을 비롯한 각종 쓰레기 등은 이 洞窟속 水質汚染에도 관계되고 있다고 하겠다.

수질의 오염은 앞서 말한 바와같이 洞窟生物의 생태계 유지에도 크게 지장 받는 것이므로 이와같은 몰지각한 행위는 삼가하여야 한다고 본다.

V. 고씨동굴의 생태변화 현황

원래 洞窟내는 常溫, 常暗, 常濕의 環境을 지나야 하는데 모든 洞窟은 관광개발로 이 環境은 점차로 파괴되어 가도 있다. 이와같은 원인은 밝은 조명과 많은 洞窟 출입 관람객 때문에 고온건조하여 洞窟의 環境이 변화되어 녹색공해와 같은 洞窟 生物의 生態 변화를 보게된 것이다.

그리고 이차생성물의 오염 및 剝離현상을 나타내고 있는 현실이다. 그리고 과잉개발 시설과 많은 관람객의 동시 관람, 통행로의 과밀현상은 洞窟내의 環境을 변화시키고 있으며 洞窟내 자연경관 까지도 헤치고 있다.

이밖에도 일부 무질서한 洞窟內外의 행락질서로 環境파괴가 일어나고 있는데 예를들면 자연미의 훼손, 환경오손을 초래하는 결과를 보게 되었다. 또한 洞窟 주변의 과다한 상가주택의 밀집과 洞窟 내부의 많은 철재 통행시설 및 조명시설은 洞窟環境의 파괴를 가져와 마침내 洞窟生物의 감소, 이차생성물의 乾化剝離 그리고 녹색 및 흑색공해 현상이 심화되어 가고 있다.

이상과 같은 원인들이 洞窟의 環境 변화에 박차를 가하고 있어 여기에 주기적인 環境保全診斷과 대책이 계속적으로 요구된다.

그러나 洞窟이 개발되고 있는 내부 洞窟에서는 조명등이 비추어지는 부근에 이끼류나 양치류 같은 하등식물이 자라게 되는 경우가 있다. 이것은 조명등의 빛과 온도에 관계되는데 이와같은 하등식물들이 자라게 되므로써 洞窟生物의 생태계에 커다란 변화가 생긴다. 洞窟生物을 헤치는 甲蟲류가 생기거나 종유석, 석순, 유석(플로우스톤) 등의 표면을 파괴시킨다.

원래 미생물 공해 이외에도 하등식물인 녹색공해도 나타나는데 이는 照明燈이 있는 부근에 나타나고 있다.

이밖에도 剝離현상이 이차생성물의 표면에 나타나고 있는데 이들은 표면의 석질의 조직, 성분, 습도와 CO₂의 농도 그밖의 환경조건과 관련이 있는

것으로 보인다.

즉, 洞窟은 관광개발과 동시에 그 環境은 파괴되어지는 것이 당연하다. 자연동굴이 그대로 보전되고 있으면 모르지만 일단 관광개발되면 개발의 시설, 설비 그리고 개발후에는 수많은 관광객이 출입하기 때문에 이로 인한 環境파괴는 당연한 일이라고 하겠다. 더구나 관람객에 의하여 부주의로 인해 버려지는 물질인 휴지, 배설물, 음식물 찌꺼기, 건전지 그리고 각종 유실물 등이 모두 環境을 오염시키는 결과를 초래한다. 이와같은 유기물이 부패되기에 알맞은 洞窟내의 온도와 습도는 미생물의 번식을 촉진하게 된다.

뿐만아니라 인체에 문어서 洞窟내로 유입되어진 미생물과 균류도 무시할 수 없는 環境汚染의 원인이 되고 있다.

미생물의 종류로는 *Asparagillus Spp*, *Penicillium Spp*, *Pencilomyces Mucorales*, *Phragmatrich papucospora*, *Trichodroma* 등이 이에 속한다.

이러한 물질들은 洞窟내부에 여러가지 색을 나타내면서 번식한다. 그중에서도 洞窟 속에는 그 종류벽(유석)에 검은 곰팡이류가 많이 나타나고 있는데 이는 위에서 말한 미생물들이 번식한 것이다.

VI. 결론

사실상 고씨동굴의 環境은 공개동굴인 만큼 점차 그 環境이 변화되어가고 있음은 재언을 요하지 않는다.

결국 드나드는 관광객, 그리고 그들이 버리고 남겨둔 쓰레기나 오물 등으로 인하여 동굴환경이 오염되는 원인이 되는것이다.

결과적으로 그 環境변화를 극도로 둔화시켜 나아가면서 동굴개발 이용이 계속되어야 하는것이 현명한 策이라고 하겠다. 따라서 되도록이면 동굴의 生態環境을 그대로 유지시킬수 있는 環境설비를 위하여 점차 현재의 개발시설 설비를 개선해 나아가야 할 것이다.

뿐만아니라 동굴의 일부지역을 오늘날까지 비공개 지역으로 지정 보호하고 있는 자연보호구역을 계속 유지하도록하여 동굴 생물의 生態유지에 일부나마 기여하도록 하여야 할 것이다.

이밖에도 보다 많은 관광객이 찾아오는 것에 대비하여 동굴환경의 영향 조사를 실시한 연후에 그 결과를 참고로한 새로운 개발 코오스의 새로운 재 배치 계획도 검토되어야 하겠으며 동굴 환경 유지를 위한 제반 대책을 강구 토록 하여야 하겠다.

〈참고문헌〉

- 홍시환, 1990, 한국동굴대관, 삼주출판사.
한국동굴학회, 1982, 성유굴 환경보전 진단 보고서
한국동굴학회, 1983, 고수굴 환경보전 진단 보고서
영월군, 1986, 고씨동굴 내부정비 공사계획
(주)원천, 1987, 고수동굴의 환경보전 및 안전대책 조사
1990, 고수동굴의 환경 및 안전진단 조사
1991, 고수동굴의 환경 및 안전진단 조사 연구보고서
(주)천동동굴, 1990, 천동동굴 환경실태 조사
울진굴, 1992, 성유굴의 환경 및 안전진단 조사 연구보고서
(주)유신, 1993, 고수동굴 학술조사 보고서