

동굴환경요인이 미생물 생육에 미치는 영향

- 동굴학적 기초이론에 의해서 -

暎園工業專門大學教授 林岐榮
圓光保健專門大學傳任講師 曹銀姬

I. 서 론

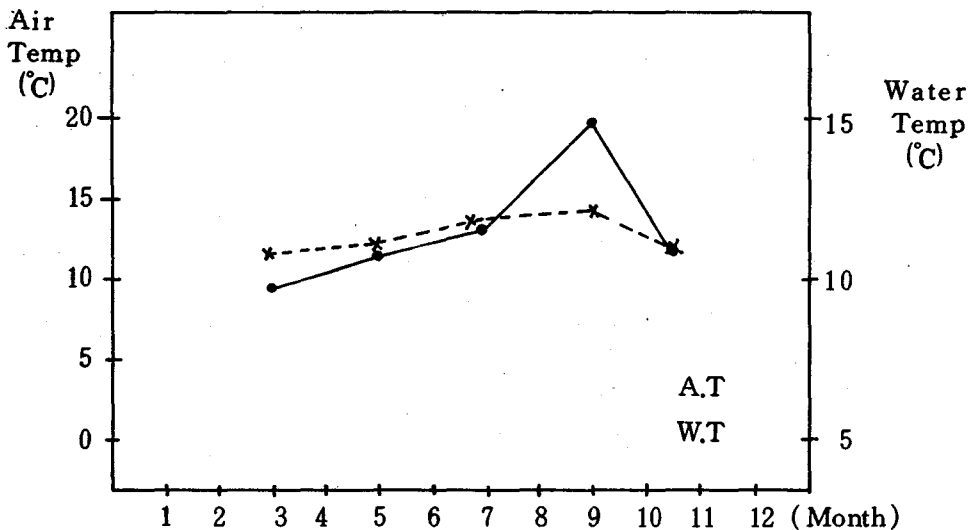
한국에서의 洞窟生物相에 대한 본격적인 연구는 최등(1961)에 의한 울진 성류굴의 학술조사로 부터 비롯되었으며 남궁준·임문순·이해룡·이병훈 등의 지속적이고 헌신적인 노력에 의해 현재 12網 34目 212種(일부 미확인종 포함)의 동굴생물이 分類되었다. 그러나 동굴의 微生物에 대한 연구활동은 1975년, 천연기념물로 지정된 동굴에 대한 종합학술조사의 일환으로 민등(1975년)이 眞菌(fungi)을 분리한 것으로 부터 시작되었고, 그후 여러편의 보고서가 나왔지만 細菌(bacteria)에 대한 연구보고는 한편도 없어 미생물학자에 의한 조사연구가 요망된다.

더우기 관광개발된 동굴이 늘어났고 그에 따른 본래 동굴환경의 物理·化學的 변화는 微生物 生育에 커다란 영향을 주었기에 동굴자체의 汚染과 동굴관광객의 무관심한 관람태도에 의한 傳染의 우려도 있어 중요한 관찰대상이 되었다. 연구자들은 동굴환경 요인변화가 동굴 미생물 생태계에 미칠 영향을 조사하기 위해 기초적인 이론연구를 하고자 한다.

II. 本 論 동굴환경요인과 미생물생육의 연관성

1. 온 도

동굴은 <그림1>에서 보듯이 연중항온을 유지하는 지형구조의 특이성이 있으며 온도에 의한 생물상 변화도 크게 구분되어지고 있다. 특히, 외부환경과 거의 같은 조건의 初入지대 (Entrance)와 빛이 들어갈수 있는 有光지대 (Twilight Zone)에서는 일반적으로 육상 생물상의 성격을 나타내고 있음이 Vandell(1965)에 의해 보고되었다. <表1>는 계절에 따른 동굴온도와 수온을 高等動物의 분포와 함께 나타낸 도표로서 온도변화에 의한 生物相의 移動을 볼수 있다.



<그림1> 고수굴의 150 m 지점에서의 연중 온도 및 수온변화
(1978 ~ 1984 사이의 조사한 자료)

〈表1〉 BIOLOGICAL ZONATION IN SUMMER (°C)

Air Temp.	Enterance	Twilight zone	variable temperature zone			constant-temp. zone
			20	18	17	
WATER TEMP	17	16-17	15			15
BIOLOGICAL PHASE	phoebe	forg eyed flatworm eyed amphipod Brown crayfish	cave crickets (ceuthophilus)		havestmen social bat (Myotis mutalis eyeless flatworms)	havestmen blind millipede eyeless amphipod white isopod blind beetle eyeless flatworm
			white isopod			
			cave crickets (Hadenocus) white crayfish social bat (Myotis sodalis) Blind Millipede eyeless flatworm			

BIOLOGICAL ZONATION IN WINTER

(°C)

	Entrance	Twilight zone	variable temperature zone		constant-temp. zone	
Air Temp.	-12--	-7--4	-1	2	10	13-15
Water Temp	13	13-15		15		15
BIOLOGICAL PHASE			cave crickets (ceuthophilus)			pipistrel bats blind beetles white isopod white cray eyeless amphipod eyeless flatworm blind millipede white crayfish
			pink moth eyed flatworm eyed amphipod hiberating havestmen white isopod cave cricket (Hadenoeucus) Bat (myotis sodalis) eyeless flatworm eyeless amphipod cave cricket (Hadenoeucus) white dayfish Little brown bats eyeless amphipod eyeless flatworm			

("Biological Zonation". The life of the Cave (1966) by Charles E. Mohr & T.L. Poulson)

또한 온도는 미생물 생육에도 중요한 요인으로 작용하여 동굴과 같은 온도분포에서는, 낮은 온도 ($5^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$)에서도 생리대사 (physiological metabolism)를 할 수 있는 저온 미생물군 (psychrophiles group)이 성장할 수 있으나 유기물과 광선등의 제한요소가 있어 외부환경 보다는 적은 개체수와 적은 종류로 분리되리라 생각된다.

그러나 관광개발된 동굴에서는 조명등과 많은 관람객의 수용에 의한 온도 상승등이 미생물 생육에 유리하게 되어 개발되지 않은 동굴보다 훨씬 많은 개체와 다양한 분류를 나타내고 있다. 특히 조명등이 조사되는 곳에는 국부적으로 綠色下等植物이 잘 발달되어 있고 광선이 미치는 범위 안에 버려진 오물이나, 사람의 손길이 닿는 벽면 등의 표면에서는 많은 미생물이 분리되고 있음이 민 (1980) 등에 의해 밝혀졌다.

2. 물 · PH 및 광선

동굴의 생성과정중 물의 역할은 거의 절대적이며 지질구조상, 동굴 내부는 항상 물의 유입이 있고 88~100%에 이르는 고습도 상태를 나타낸다. 이는 고등생물의 생활환경으로 썩 좋은 조건이 될수는 없지만 하등생물 특히 미생물의 성장요인으로 충분한 수분을 공급해 주는 역할을 하고 있다. 하지만 生理的으로는 수분자체보다 물에 포함되어 있는 무기염류 (inorganic salts)와 기타 용해질, 그리고 pH 등이 더욱 중요한 작용을 하고 있어 동굴내의 습도 자체는 미생물 생육에 직접적으로 커다란 영향을 주는것 같지는 않다. 박등 (1982)에 의한 동굴수의 수질분석은 <表2>과 같고, 여기에 나타난 Ca, Mg, Fe

등의 무기이온(inorganicvion)은 미생물 세포구성에 작용되는 주요 인자들이다. 또한 동굴수의 pH는 중성(pH 7~8)으로 대부분의 미생물 성장에 적합한 pH 5~9의 범위에 속하여, <표 3>에서 보듯이 동굴내부로 유기질의 유입이 없다하더라도 무기성분을 이용하여 증식할수 있는 화학자가 영양균(chemoauto trophic bacteria)등의 좋은 서식처가 될수 있으리라 생각된다. 하지만 분석된 퇴적물의 구성이 이미 산화된 형태로 나타나고 있어 細菌의 무기물이용에 관한 문제는 더욱 연구되어야 하겠다.

<表 2 > 고수동굴의 수질분석

(試料)

번호 장 소	OC	습도(%)	pH	경 도 CaCO ₃ (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
1. 동굴 앞 개 천	24.3	-	7.75	16.7	2.0	0.62	0.42
2. 동굴내 고인물	16.8	95	7.92	82.5	2.8	0.25	1.02
3. 동굴내 적하수	16.0	92	8.21	152.5	1.8	0.33	0.61

Ca (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	알칼리度 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

<表 3 >

1. 고수동굴 외부의 석회석 분석

시료 No	CaO		MgO		Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		SiO ₂		P ₂ O ₅		Sr		Mr		Ba		Na		K	
	%		%		%		%		%		%		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm	
1	52.32		1.25		0.09		0.05		3.27		0.022		220		98		—		70		42	
2	53.25		1.10		0.87		0.12		1.09		0.125		—		31		7		28		9	
3	55.72		0.25		0.04		0.08		0.15		0.012		582		12		—		32		25	
4	54.04		0.17		0.57		0.09		0.16		0.015		—		—		—		42		32	
5	53.12		0.44		1.44		0.03		0.58		0.042		305		—		—		22		7	

2. 동굴내부의 2차 생성물 분석

시료 No	CaO		MgO		Fe		Al		SiO ₂		Mn		Sr		P ₂ O ₅		ℓ		H ₂ O	
	%		%		ppm		ppm		%		ppm		ppm		%		ppm		%	
석 순	54.51		—		352		520		0.52		—		8.01		0.012		252		1.08	
석 주	53.52		—		242		720		0.22		12		—		0.102		358		1.88	
중유석	54.27		—		825		450		0.05		—		0.52		0.027		416		2.02	
중유판	54.19		—		543		582		0.12		—		1.58		0.011		125		1.82	

광선 역시 모든 생물에 있어 광합성작용 (photosynthesis)의 전제가 되는 중요한 요인으로 동굴환경을 외부환경과 구분짓게 하는 일차적 역할을 하여 Wells(1959) 등은 광선에 의한 동굴생물의 생리변화에 관한 보고를 하였다. 이렇듯 암흑상태의 동굴환경은 시각기관의 퇴화, 촉각·감각기능의 발달등과 같은 적응과정을 거쳐 현재와 같은 독특한 洞窟生態系를 형성하게 되었지만 미생물에게는 光合成作用에 대한 제한요인 (Restrict factor)으로 밖에 영향이 없는 듯하다.

이것은 빛이 전혀 없는 항온지대 (constant-temperature zone)에서는 土壤生態와 유사한 미생물 분포를 보이는 初入부근 (Entrance)이나 有光지대 (Twilight zone)와 다른 미생물생태계가 형성되었으리라 생각되며 低溫이나 有機質의 부족등에 의한 생리적 적응현상도 예측할 수 있겠다.

3. 유기질

Bear(1964) 등은 토양이 0.5~10%의 유기질이 존재한다고 보고하였다. 그러나 동굴내의 土壤分析에 대한 보고는 없고 洞窟 構造上 어느 정도의 유기질이 존재하는지는 모르지만 상기한 동굴내의 조건 즉 온도, 광선, pH, 수질성분 등은 모두 미생물의 생육조건에 적합하기 때문에 자가영양요구성 (유기질을 필요로 하지 않고 무기질로부터 영양대사를 할수 있는 autotroph)이거나 타가영양 요구성 (유기물을 분해함으로써 직접적인 에너지를 얻는 heterotroph)등 어떤 형태의 미생물이라도 존재하리라 생각된다. 그리고 외부로 부터 유입되는 유기질을 포함한 물, 박쥐의 배설물, 외부로 부터 들어온 동물의 시체, 바

람들에 의한 미세한 유기질의 유입, 박쥐에 의한 유기물 유입등에 의한 동굴내의 미생물생육에 미치는 영향에 대한 보고는 민, 이(1979,1983)에 의해 보고되었고 이들 유기질은 洞窟生態系에서 1차분해자인 bacteria, fungi, actinomycetes 등에 의해 소모되어 동굴내의 먹이연쇄관계에 있어 중요한 역할을 함이 Culver(1965)에 의해 보고되었다.

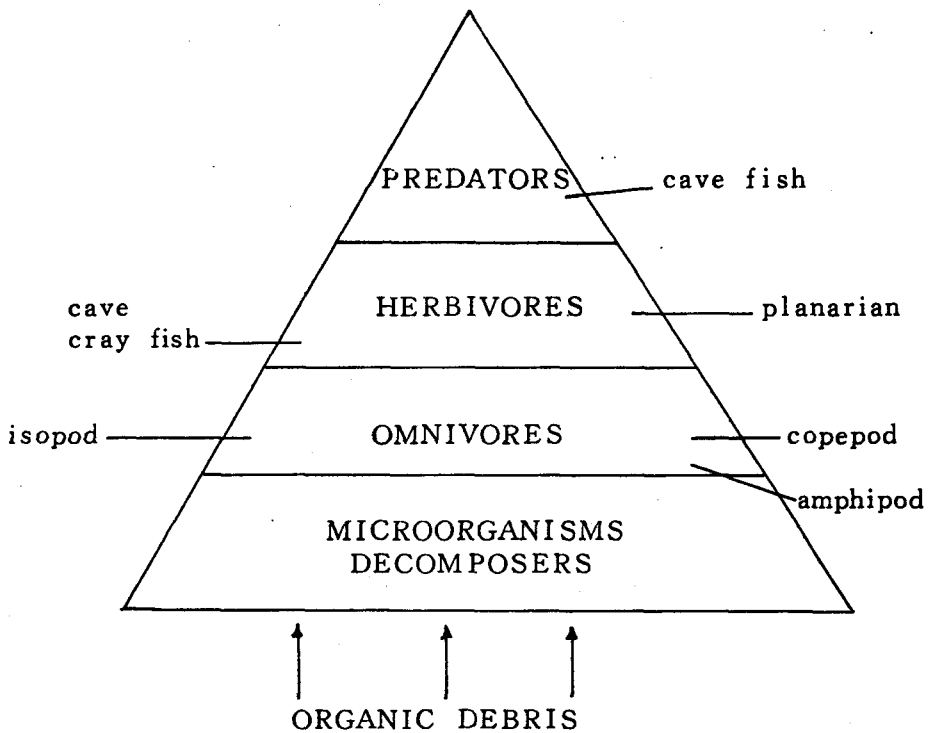


그림 2. 동굴내의 먹이 사슬

이렇듯 동굴내의 유기질은 미생물생육에 지대한 영향을 주고 있어 관광개발동굴에서 관람객에 의해 투여되는 여하한 형태의 유기물도 미생물의 급격한 성장요인으로 간주되고 있다.

<表4>

	동 글 명	분 리 균 명	
관 광 개 발 동 글	고 수 동 글 (1980.12) 12. S.P.	<p>Aspergillus niger</p> <p>Penicillium frequentans</p> <p>Penicillium janthinellum</p> <p>Penicillium oxalicum</p> <p>Penicillium stoloniferum</p> <p>Cladosporium sphaerospermum</p> <p>Doratomyces purpureofuscus</p> <p>Doratomyces microsporus</p> <p>Gliocladium roseum</p> <p>Trichoderma hazianum</p> <p>Trichoderma koningii</p> <p>Mucor Christianiensis</p>	
		성 류 동 글 (1977.7) 39 S.P.	<p>Oedocephalum sp.</p> <p>Verticillium alboatrum</p> <p>Leptoshaeria salvinii</p> <p>Mortierella dichotoma</p> <p>Mortierella elasson</p> <p>Penicillium oxalicum</p> <p>Penicillium thomii</p> <p>Mortierella clausenii</p> <p>Doctylella sp.</p>

	동 굴 명	분 리 균 명
	성 류 동 굴	<i>Penicillium luteum</i> <i>Nigrospora oryzae</i> <i>Oedocephalum glomerulosum</i> <i>Mortierella minutissima</i> <i>Menconiella</i> sp. <i>Penicillium notatum</i> <i>Dendrographium</i> sp. <i>Deightoniella jabalpurensis</i> <i>Curvularia olavata</i> <i>Rhizootonia</i> sp. <i>Trichocladium pyritorme</i> <i>Papulospora</i> sp. <i>Trichoderma</i> sp. <i>Mortierella stylospora</i> <i>Stysanus</i> sp. <i>Circinotrichum</i> sp. <i>Dratomyces stemonitis</i> <i>Helminthosporium velutinum</i> <i>Penicillium decumbens</i> <i>Graphium</i> sp. <i>Sporocybe</i> sp. <i>Mortierella nigrescens</i> <i>Mortierella gracilis</i>

	동 균 명	분 리 균 명
	성 류 동 균	Mortierella ramanniana Trichurus sp. Penicillium cyclopium Conoplea fusca
관 광 개 발 되 지 않 은 동 균	남 균 (1979년) 4 SP.	Penicillium herquei Gliomastix musorum Gliomastix murorum Aspergillus oryzae Aspergillus clavatus Penicillium cyclopium Trichoderma viride
	백 통 균 (1979년) 5 SP.	Aspergillus flavus Aspergillus fumigatus Penicillium cyclopium Penicillium janthinellum Armillariella tabescens
	노 동 균 (1979년) 5 SP.	Aspergillus fumigatus Aspergillus flavus Aspergillus niger Penicillium chrysogenum

Ⅲ. 고찰

동굴환경과 미생물의 생육조건은 온도, 빛, 무기염, PH 및 유기질 등에 의해 밀접하게 연관되며 민, 이 (1977, 1983)에 의한 미생물 조사에서도 밝혀졌지만—무균상태로 순수한 동굴의 항온지대에 대한 철저한 조사가 이루어지지 않았기 때문에—외부로 부터 유입된 유기물에 고착된 진균 (fungi)만이 동굴오염에 중요한 요인으로 인식되어진 것 같다.

또한 동굴 초입부근과 유광지대등 외부의 영향을 쉽게 받는 곳에서는 토양생태계와 비슷한 미생물분포를 나타내며 유기물 보다는 물리적 영향에 의해 성장정도가 결정되어질 것 같다. 더우기 어느 환경에서도 발견되는 미생물의 속성으로 볼 때 동굴내에도 진동굴성 (Trogloubiontic sp.) 미생물의 존재를 추론할 수 있어 무균상태로 항온지대 (constant-temperature zone)에서의 미생물 채집방법과 화학자가 영양균 (chemolithotrophic microbe)에 대한 분리 동점 방법등이 선결되어야 하겠다.

Ⅳ. 결 론

연구자는 동굴 생물중 환경오염과 동굴생태계에 커다란 비중을 차지하는 미생물을 대상으로 동굴환경과의 연관성을 관찰하여 몇가지 추론과 문제점을 서술함으로서 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 초입 (Entrance)와 유광지대 (Twilight zone)에서의 동굴 미생물상은 토양 생태계와 같을 것이다.

2. 물리, 화학적으로 격리된 동굴 내부에서는 외부로부터의 유기물 유입이 미생물 생장에 커다란 역할을 하며 생육된 미생물은 동굴환경에 맞게 생리적 적응을 했을 것이다.

3. 진동굴성 (Troglobionic sp.) 미생물과 동굴 미생물의 생태 연구를 위해 기초적인 연구와 보다 전문적인 인력의 참여가 요구된다.

參 考 文 獻

1. 최기철, 남궁준(1961): “성류동굴의 천연기념물 지정을 위한 기초조사” 문화재관리국
2. 남궁준(1982): “한국동굴생물연구현황” 월간문화재 Vol 117.
3. 민경희(1977): “성류동굴 종합학술보고서” 한국동굴보존협회
4. 민경희(1980): “고수동굴 보존대책조사연구보고서” 한국동굴보존협회
5. 민경희 외 4인(1979): “전국주요동굴보존 현황조사보고서” 한국동굴보존협회
6. Lee. Park. No & Hong(1983): “A Investigation of Countermeasure about corruption and pollution in Go- Soo Cave” Cave Vol8. No 9.
7. Patrick H. wells(1959): “Responses to Light by cave crayfishes” N.S.S No.4.
8. Vandel, A.(1965): “The Biology of Cavernicolous Animals” Pergamon Press.