

포항지역의 중금속과 탄화수소 내성균 분포

김갑정 · 이인수 · 박경량†

한남대학교 이과대학 미생물학과

Distribution of Heavy Metals and Hydrocarbons Resistant Bacteria at Pohang Area

Gab-Jung Kim, In-Soo Lee and Kyeong-Ryang Park†

Department of Microbiology, Hannam University, Taejon 300-791, Korea

Abstract

As a part of a study on the development of microbiological methods for petroleum exploration, the distribution of the average survival rate for heterotrophs to various heavy metal ions and hydrocarbons were surveyed and compared by the use of plate count method. In consequence of the average survival rate to heavy metal ions(2 hours treatment) and hydrocarbons(1 hour treatment) for heterotrophs isolating from soil samples(50cm depth) which located in Doum mountain(A, B and D site) and Aedowon(C site) at Pohang area, the survival rate of heterotrophs for nickel(600ppm), cobalt(500ppm), cadmium(100ppm), mercury(20ppm), zinc(400 ppm) and lead(500ppm) were 73.7%, 82.6%, 76.8%, 9.5%, 77.8% and 73.6% at A site, and 67.9%, 82.5%, 86.0%, 5.8%, 82.5% and 91.7% at B site, 87.8%, 79.8%, 87.5%, 7.0%, 84.2% and 47.7% at C site, and 71.8%, 76%, 85.9%, 1.2%, 79.6% and 88.3% at D site, respectively. Also the survival rate of heterotrophs from A, B, C and D site to pentane and hexane(each concentration is 20%) were 26.7% and 42.5%, 11.8% and 8.1%, 44.3% and 36.2%, and 12% and 3.5%, respectively. Therefore, heterotrophs from B and D site that alternated gravelstone, muddy sandstone and sandstone were higher survival rate to the heavy metal ions than heterotrophs from A site which mainly composed gravelstone. Also, heterotrophs from C site which mainly composed muddy sandstone and once produced natural gas were showed relatively higher survival rate to the heavy metal ions and hydrocarbons than the other sites. Consequently, we confirmed that the distributions of tolerant heterotrophs to heavy metal ions and hydrocarbons were differ from the lithological composition.

Key words : heavy metal, hydrocarbon, resistant bacteria

서 론

인간은 산업혁명 과정을 통해 생산성을 높이기 위해 석

탄이나 석유와 같이 오랜 세월에 걸쳐 저장된 태양에너지인 화석연료를 에너지원으로 사용하고 있고¹⁾, 이로 인해 에너지의 공급이 현격히 증가하여 인간의 삶의 질을 향상시킬

† Corresponding author

수 있었다. 그러나 장기간에 걸쳐 저장되어온 에너지를 단 기간에 사용한 결과, 이들 화석연료의 양이 점차 감소되고 있어 새로운 대체에너지가 개발되고 있으나, 아직까지는 화석연료가 인간이 사용하는 주된 에너지원으로서 계속 탐사 및 채광되고 있고 이들 화석연료중 석유는 석탄에 비해 경제하여 다양한 용도로 사용할 수 있어 탐사에 더욱 많은 노력을 기울이고 있다.

석유탐사에 있어 시추 후보지를 찾는 연구로는 지질조사, 고생물조사, 암석학적조사를 포함하여 유정, 지층의 암상, 주향등을 관찰하고 구조의 유무 및 집유에 따라 전체적으로 판단하는 지질학적 조사(Geological survey)와 자기탐사, 지진탐사, 중력탐사등을 이용하는 지구물리학적 조사(Geophysical survey), 그리고 석유생성과정을 지화학적으로 해명하고, 이들의 존재여부를 석유근원암의 유기물조사, 가스 상태의 탄화수소분석, 토양분석등으로 추적하는 지화학적 조사(Geochemical survey)로 구분할 수 있고, 이들 탐사 방법들은 방법에 따라 각각 여러가지 장, 단점을 가지고 있어 조사지역에 따라 적당한 방법을 선택하여 사용하고 있기도 하나, 일반적으로 여러 탐사 방법들을 병용하여 각각 자료를 모아 가장 적합한 후보지를 선정하여 시추작업을 시행하고 있다.

이중 지화학적 조사에 있어 Price는²⁾ 지화학 탐사방법을 C₂-C₅ 탄화수소 농도를 측정하는 것을 기본원리로 하는 지표지화학탐사(Surface geochemical exploration) 방법들 또는 이러한 탄화수소에 대해 어떤 반응을 나타내는 미생물을 측정하는 것이라 정의하였고, 또 그는 석유탐사방법의 미세삼출(microseepage)과 수직으로 이동하는 탄화수소를 산화하는 미생물과의 상호관계는 대부분의 지표지화학 탐사방법을 근본적으로 설명할 수 있을 뿐 아니라 halo, chimneys, radiation lows, paraffin dirt와 같은 설명하기 어려운 기작들을 밝히는데 중추적인 역할을 한다고 언급하였다.

일반적으로 대부분의 생명체들은 탄화수소와 또 석유탐사방법과 결합해 있는 중금속들에 독성을 느껴 이들에 노출되었을 경우 사멸하게 된다. 그러나 세균은 이들 탄화수소와 중금속에 노출되었을 경우 이들에 대해 쉽게 적응하여 생존할 뿐 아니라 오히려 이들을 이용할 수 있는 유용한 유전적 기작을 보유하고 있어^{3, 4, 5, 6, 7, 8)} 탄화수소와 중금속이 존재하는 곳에서도 생존이 가능하다. 따라서 원유탄화

수소 저류층 위로 수직 이동하는 탄화수소를 이용하는 세균이 자연 생태계에는 많이 존재하며, 또 이러한 탄화수소를 산화하는 미생물에 의해 지표에서 나타나는 여러 징후들 즉, Gulf Coast의 석유발견과 관련있는 paraffin dirt⁹⁾, 미생물 활성에 의한 pH와 redox potential의 변화, 산(acid)의 생성으로 인한 광물의 용해와 침전의 결과로 나타나는 chimney^{10, 11)}, 그리고 미생물 산화 결과 생성되는 이산화탄소로 인해 발생하는 halo¹²⁾ 등은 지화학적 석유탐사에 중요한 지표로 사용된다.

본 연구는 기존의 물리, 화학적 방법에 비해 짧은 시간 내에 저렴한 비용으로 석유탐사를 할 수 있는 미생물학적 탐사방법을 개발하기 위해 탄화수소가 미세삼출되는 지역의 세균집단이 석유탐사방법과 이것에 결합된 중금속에 대한 생존율이 높을 것이라는 것에 착안하여 우리나라 지층 구조상 석유 매장 가능성이 가장 높은 포함지역의 토양을 채취한 후 여러 탄화수소와 중금속에 대한 생존율의 분포를 평판배양방법으로 분석하고 총세균수에 대한 비율을 조사하여 지미생물학적 방법이 지표탐사의 자료로 활용될 수 있는지를 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

시료채취

본 실험에 사용한 토양시료는 경북 영일군 흥해읍에 위치한 도읍산 일대 및 동일 구역의 애도원지역에서 채취하였다(Fig. 1).

토양시료는 주로 역암으로 구성되어 있는 천북층인¹³⁾ 천곡사 주변 능선을 대상으로한 39지점과(A 지역), 역암, 사암, 이암이 교대되고 있는 학림층인 포항 공동묘지 주변 능선을 대상으로한 15지점(B 지역)과 30지점(D 지역)에서 100m 간격으로 채취하였으며, 시료 채취가 불가능한 몇 곳은 150m 간격으로 채취하였다. 또 지하수 시추중 가스가 분출되었던 이암으로 구성된 두호층인 애도원의 시추공 주변 4곳의 토양(C 지역)도 20-30m 간격으로 채취하였다. 시료채취는 일정한 구획으로 구분하여 채취하는 것이 가장 이상적이거나 시료채취 주변이 모두 산이기 때문에 일정구획으로 나누어 채취할 수 없어 능선을 따라 일정간격으로 채취하였다. 모든 시료는 지표의 생물활성에 의한 영향을 가능한 적게 하기 위해 지표면과 토양색이 달라지는 깊이 50

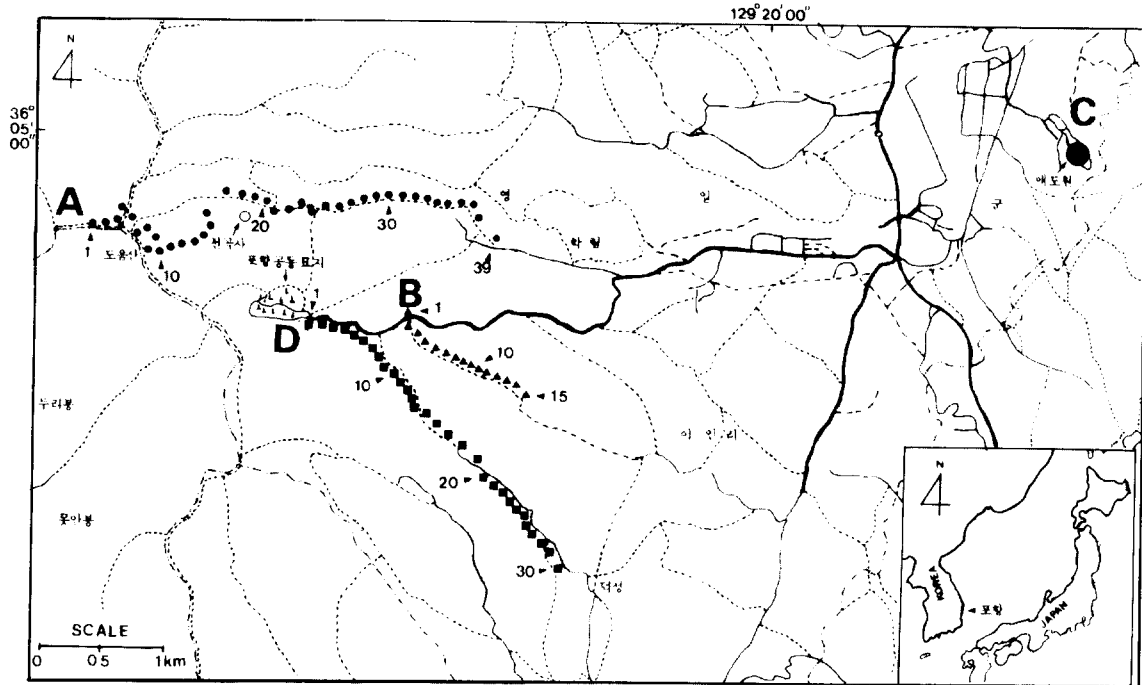


Fig. 1 Sampling site and location map at Pohang

결과 및 고찰

-60cm⁴)에서 채취하여 냉장보관한 후 실험실로 운반하여 실험에 사용하였다.

중금속영양세균수 측정

채집된 토양시료들은 각각 토양 1g을 100ml의 멸균생리 식염수에 현탁하여 2시간 동안 진탕배양(160rpm) 한 후 30분간 정치시켜 사용하였다. 30분 정치후 두개의 시험관에 상등액 10ml 씩을 각기 분주하여 하나는 대조구로, 나머지 하나는 해당 농도의 중금속(nickel, 600 ppm; cobalt, 500 ppm; cadmium, 100 ppm; mercury, 20 ppm; zinc, 400 ppm; lead, 500 ppm) 또는 탄화수소(pentane, 20%; hexane, 20%)을 첨가하여, 중금속 처리일 경우 2시간, 탄화수소 처리일 경우 1시간을 대조구와 같이 진탕배양 하였다. 배양후 대조구와 처리된 시료는 각각 10단계 희석법으로 계속 희석하여 영양배지에 일정량씩 접종한 후 30°C 에서 5일간 배양하여 형성되는 colony 수로서 세균수를 측정하였다(CFU; colony forming unit).

중금속과 탄화수소 농도 결정

석유탐사 지역의 중금속과 탄화수소 내성균의 분포를 조사하는 것이 원유 탄화수소 저류층에서 미세삼출되는 지역을 탐색할 수 있는 좋은 지표가 된다. 따라서 처리할 중금속과 탄화수소의 농도를 결정하기 위해 대전 한남대학교 주변의 토양을 채취하여 nickel(Ni), cobalt(Co), cadmium(Cd), mercury(Hg), zinc(Zn), lead(Pb)의 여섯종류의 중금속과, 펜탄(pentane), 헥산(hexane) 두 종류의 탄화수소를 각각 여러 농도별로 중금속은 2시간, 탄화수소는 1시간 처리하여 대전지역 토양세균의 생존율을 조사하였다. 그 결과 각 처리물질에서 약 50%의 평균생존율을 나타내는 농도인 600ppm(Ni), 500ppm(Co), 100ppm(Cd), 20ppm(Hg), 400ppm(Zn), 500ppm(Pb), 20%(pentane, hexane)를 실험농도로 결정하였다. 이 농도들은 Zn을 제외하고는 Michaelis and Riese의 토양시료 처리 농도와 비교할 때 비교적 높은 농도이며 중금속과 탄화수소 처리농도는 바다의 퇴적물과 광산의 토양에서 각각 다른 것처럼¹⁴⁾ 지

역에 따라, 또 토양, 담수, 해수 퇴적물등 시료에 따라 각 중금속과 탄화수소의 농도가 예비실험을 통해 결정되어야 할 것으로 사료된다.

포항지역의 일반 중속영양세균 분포

포항지역에서 채취한 모든 시료를 중금속과 탄화수소로 처리하는 과정에서 대조구 값으로 조사된 평균 중속영양세균의 수를 A, B, C, D 지역별로 비교할 때(Table 1), 주로 역암으로 구성된 A 지역의 평균 1.15×10^7 (CFU/g soil) 과 이암으로 구성된 C 지역의 9.99×10^6 (CFU/g soil)에 비해 역암, 이암, 사암이 교대하고 있는 B 지역은 1.12×10^8 (CFU/g soil), 그리고 D 지역은 2.18×10^8 (CFU/g

Table 1 Average number of heterotrophic bacteria in site A, B, C, and D

Site(A)	Average No. of Heterotroph	Site(A)	Average No. of Heterotroph
1	1.92×10^7	21	7.46×10^6
2	7.13×10^6	22	1.49×10^7
3	1.31×10^7	23	1.15×10^7
4	1.53×10^7	24	2.18×10^6
5	4.80×10^7	25	1.25×10^7
6	1.91×10^7	26	3.68×10^6
7	5.23×10^6	27	4.54×10^6
8	5.93×10^6	28	2.40×10^6
9	1.23×10^7	29	3.53×10^6
10	1.08×10^7	30	1.23×10^7
11	5.59×10^6	31	3.27×10^7
12	7.58×10^6	32	1.65×10^7
13	8.11×10^6	33	1.53×10^7
14	7.91×10^6	34	3.41×10^6
15	1.08×10^7	35	1.24×10^7
16	1.49×10^7	36	1.01×10^7
17	1.18×10^7	37	3.23×10^6
18	1.12×10^7	38	2.26×10^7
19	9.81×10^6	39	8.15×10^6
20	7.13×10^6	Average	1.15×10^7

to be continue.

Site(B)	Average No. of Heterotroph	Site(D)	Average No. of Heterotroph
1	1.54×10^7	1	1.74×10^8
2	2.80×10^8	2	4.47×10^7
3	8.51×10^7	3	5.24×10^8
4	1.48×10^8	4	1.67×10^7
5	4.20×10^7	5	1.20×10^8
6	5.14×10^7	6	1.55×10^8
7	2.65×10^7	7	4.06×10^8
8	8.01×10^7	8	3.68×10^8
9	1.35×10^8	9	5.69×10^7
10	2.02×10^8	10	6.71×10^7
11	2.47×10^7	11	4.36×10^8
12	2.07×10^7	12	3.46×10^7
13	1.99×10^8	13	4.94×10^8
14	3.50×10^8	14	3.43×10^8
15	5.05×10^7	15	3.59×10^8
16	8.14×10^7	16	3.09×10^8
Average	1.12×10^8	17	3.41×10^6
Site(C)	Average No. of Heterotroph	18	2.43×10^8
1	2.45×10^6	19	3.04×10^8
2	1.18×10^7	20	4.51×10^7
3	1.74×10^7	21	2.41×10^8
4	8.30×10^6	22	1.47×10^8
Average	9.99×10^6	23	4.91×10^8
Average	2.18×10^8	24	1.73×10^8
		25	9.58×10^7
		26	1.67×10^8
		27	4.61×10^8
		28	8.25×10^6
		29	9.11×10^7
		30	1.53×10^8

soil)으로 중속영양세균이 비교적 많이 분포하고 있었다. 그러나 차이는 크지 않으며 그 수도 일반적인 토양에 존재하는 중속영양 세균의 분포와 비슷하였고, 예비실험한 대전 지역의 평균수치인 5.14×10^7 (CFU/g soil)과도 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 대전지역에서 약 10cm 깊이에서 채취한 시료와 포항지역의 평균 50cm 깊이에서 채취한 시

료 모두가 식물의 뿌리에 영향을 받는 근권(rhizosphere)에 속해 있기 때문이라 사료된다. 따라서 정확한 미생물학적 석유탐사방법 개발이 진행되기 위해서는 식물뿌리의 영향을 받지 않는 더욱 깊은 지점에서 시료채취가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

A 지역 토양세균의 중금속과 탄화수소에 대한 생존율

포항 도음산 천곡사 주변 능선을 따라 100-150m 간격으로 총 39 지점에서 토양시료를 채취한 A 지역은 주로 역암으로 구성된 천북층 지역이다¹³⁾. 이 A 지역 토양을 중금속과 탄화수소로 처리하여 생존율을 조사한 결과(Table 2), 지점에 따라 6 종류의 중금속과 2 종류의 탄화수소에 대해 모두 높거나 낮은 생존율을 나타내거나, 또는 능선을 따라 주기적으로 높아지거나 낮아지는 경향을 찾아 볼 수 없었다. A 지역의 중금속인 Ni에 대한 평균 생존율은 73.7%, Co는 82.6%, Cd는 76.8%, Hg는 9.5%, Zn은 77.8%, Pb는 73.6%, 그리고 탄화수소인 펜탄은 26.7%, 헥산은 42.5%의 생존율을 나타내 대전지역 토양에 비해 중금속은 평균 10% 정도 높은 생존율을 나타내는 반면 탄화수소 종류들은 훨씬 낮은 생존율을 보여 이 지역이 대전지역 보다는 비교적 중금속을 많이 함유하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 탄화수소에 대한 생존율은 대전지역에 비해 매우 낮은 것으로 나타났는데, 이것은 대전 한남대학교 주변이 포항 근교의 산을 대상으로 한 본 실험의 탐사지역에 비해 인간활동의 많은 영향을 받는 지역이고, 또 표층이 탄화수소등에 노출되기 쉽기 때문에 발생한 결과라고 생각된다.

B 지역 토양세균의 중금속과 탄화수소에 대한 생존율

포항공동묘지 구역에서 인제동 방면으로 내려오는 능선을 따라 채취한 B 지역은 주로 역암, 이암, 사암이 교대하고 있는 학림층 지역이다¹³⁾. 이 B 지역도 역시 100-150m 간격으로 능선을 따라 총 16 지점에서 토양을 채취하여 중금속과 탄화수소에 대해 생존율을 조사한 결과(Table 3), A 지역과 같이 능선을 따라 일정한 경향이 나타나지 않았다.

B 지역의 중금속에 대한 평균 생존율은 Ni은 67.9%, Co는 82.5%, Cd는 86.0%, Hg는 5.8%, Zn은 82.5%, Pb는 91.7% 이었고, 탄화수소인 펜탄은 11.8%, 헥산은

8.1%의 생존율을 보여 A 지역에 비해 Ni와 Hg를 제외한 모든 중금속에 대한 생존율이 높은 것으로 나타났으나 탄화수소에 대한 생존율은 A 지역보다 낮게 나타났다. 이것은 아마도 지형구조상 이암속에 퇴적된 중금속이 많기 때문이라 판단되나 정확한 원인은 토양의 화학적 성분조사가 이루어져야 증명될 것이다.

C 지역 토양세균의 중금속과 탄화수소에 대한 생존율

지하수 개발도중 가스가 분출되었던 애도원 지역은 주로 이암으로 구성된 두호층 지역으로¹³⁾, 가스가 분출되었던 두 지점 중 한곳은 콘크리트로 덮여 시료를 채취할 수 없었고, 나머지 한곳의 주변을 20-30m 간격으로 토양시료를 채취하여 중금속과 탄화수소 처리에 대한 생존율을 조사하였다(Table 4). C지역 주변의 중금속에 대한 평균 생존율은 Ni이 87.8%, Co가 79.8%, Cd가 87.5%, Hg가 7.0%, Zn이 84.2%, Pb가 47.7%를 그리고 탄화수소인 펜탄이 44.3%, 헥산이 36.2%의 생존율을 나타내어 Pb와 일부 Co를 제외하고는 A, B, D 지역에 비해 일반적으로 중금속과 탄화수소에 대해 비교적 높은 생존율을 갖는 것으로 조사되었다. 이것은 이 지층이 주로 이암으로 구성되어 퇴적된 중금속 함유량이 비교적 높고, 또 가스가 분출된 것으로 보아 탄화수소도 다른 지역보다 높게 함유하기 때문이라 판단된다.

D 지역 토양세균의 중금속과 탄화수소에 대한 생존율

포항공동묘지에서 덕성 방면으로 내려오는 능선을 따라 100 - 150m 간격으로 총 30 지점에서 토양을 채취한 D 지역은 포항공동묘지쪽의 몇 지점만이 주로 역암으로 구성된 천북층이고 나머지 대부분은 B 지역과 동일한 역암, 이암, 사암이 교대하고 있는 학림층이다¹³⁾. 이 D 지역 토양시료의 중금속과 탄화수소 처리에 따른 생존율을 조사한 결과(Table 5), Ni에 대한 평균생존율은 71.8%, Co는 76.0%, Cd는 85.9%, Hg는 1.2%, Zn은 79.6%, Pb는 88.3%를 그리고 탄화수소인 펜탄과 헥산은 각각 12.0%와 3.5%의 생존율을 나타내었다. D 지역은 A 지역과 비교할때 탄화수소 생존율은 B 지역처럼 일반적으로 낮았고, 중금속인 Co, Hg, Ni인 경우 각각 6.6%, 8.3%, 1.9% 정도 낮은 생존율을, Cd, Zn, Pb의 경우는 9.1%, 1.8%, 14.7% 정도 높은 생존율을 나타내어 A 지역보다는 중금속에 대한 생존

Table 2. Survival rate of heterotrophic bacteria for various heavy metals and hydrocarbons in area A (Unit ; %).

Site	Metal & Hydrocarbon.	Ni	Co	Cd	Hg	Zn	Pb	pentane	hexane
1		53.3	12.3	6.0	9.4	60.0	59.1	5.5	13.5
2		>100	72.7	45.9	57.1	92.6	65.8	11.4	5.8
3		>100	100.0	>100	7.1	100.0	72.5	30.0	76.4
4		>100	94.1	>100	6.4	73.3	84.5	40.9	37.1
5		27.3	>100	30.2	2.6	72.5	74.5	3.3	4.3
6		72.7	65.4	76.4	2.9	>100	50.0	7.7	23.1
7		>100	97.6	81.8	2.0	>100	98.2	19.2	93.3
8		ND	>100	85.4	14.3	83.0	65.4	29.0	5.0
9		>100	42.9	>100	16.3	>100	73.3	8.9	37.7
10		84.6	>100	ND	11.8	30.8	61.1	8.3	25.8
11		97.8	86.2	35.7	5.3	>100	91.7	16.7	14.3
12		50.0	>100	100.0	29.6	>100	85.7	26.5	19.4
13		87.0	100.0	100.0	1.9	84.3	74.2	7.1	21.5
14		97.6	89.8	67.7	3.1	100.0	90.9	29.6	37.3
15		35.8	>100	90.9	2.5	92.9	88.2	17.1	39.7
16		47.5	>100	67.3	ND	92.3	49.1	>100	66.7
17		33.3	88.9	>100	0.4	>100	88.9	9.0	8.5
18		86.7	90.5	>100	14.3	86.7	84.2	35.7	10.9
19		68.3	61.9	87.4	ND	32.7	63.3	3.5	5.1
20		75.8	89.3	90.2	2.1	66.7	60.4	26.1	9.1
21		83.1	70.0	66.2	6.4	78.0	56.6	51.7	52.0
22		58.1	>100	55.9	11.8	70.0	52.7	19.0	>100
23		92.3	92.3	78.6	9.2	65.4	77.9	17.3	36.1
24		>100	50.0	5.4	ND	80.0	74.2	29.6	>100
25		75.3	38.5	37.3	3.8	61.1	72.7	12.9	70.0
26		>100	ND	50.0	1.9	15.4	48.9	10.5	100.0
27		93.3	75.0	93.0	ND	77.8	>100	19.4	56.3
28		83.3	27.3	>100	ND	89.7	85.7	30.0	62.3
29		75.0	100.0	>100	ND	98.5	80.2	ND	30.0
30		86.4	92.9	84.6	ND	56.0	49.2	12.6	33.3
31		8.1	100.0	>100	2.2	85.2	81.7	3.7	14.4
32		55.5	91.7	81.3	5.3	78.3	>100	>100	43.6
33		58.3	64.7	72.7	16.3	27.3	86.4	15.0	57.9
34		94.3	>100	54.2	3.1	71.2	71.4	53.3	33.3
35		90.9	97.1	88.0	20.7	80.0	86.7	57.1	62.7
36		35.3	>100	86.8	15.6	>100	75.0	49.2	72.8
37		25.0	>100	100.0	1.8	94.4	70.8	18.2	60.0
38		93.9	85.7	>100	6.8	76.9	52.8	34.3	65.1
39		76.0	63.6	>100	8.3	60.0	65.0	43.8	53.3
Average		73.7	82.6	76.8	9.5	77.8	73.6	26.7	42.5

ND, not detected.

Table 3. Survival rate of heterotrophic bacteria for various heavy metals and hydrocarbons in area B (Unit ; %)

Site	Metal & Hydrocarbon.	Ni	Co	Cd	Hg	Zn	Pb	pentane	hexane
1		100.0	100.0	>100	1.8	74.2	98.1	0.9	0.2
2		82.8	97.1	34.6	3.8	>100	>100	0.9	0.5
3		41.1	100.0	100.0	26.7	77.0	>100	5.9	ND
4		68.2	>100	>100	2.6	>100	68.4	14.8	29.2
5		44.4	100.0	>100	ND	ND	75.6	18.0	3.9
6		63.6	69.9	80.0	1.4	96.1	70.4	10.0	8.4
7		48.7	83.3	84.6	5.9	61.9	100.0	5.2	11.0
8		46.9	53.6	94.1	1.7	79.3	>100	2.7	3.3
9		73.3	50.0	87.1	0.5	>100	94.1	13.9	6.5
10		85.0	>100	42.0	1.0	83.3	92.0	3.1	5.0
11		60.0	80.4	84.2	0.7	71.4	>100	27.5	14.0
12		65.3	>100	>100	20.9	100.0	>100	66.9	ND
13		76.5	63.5	>100	7.7	75.9	78.6	3.2	17.1
14		81.6	85.7	>100	ND	89.4	>100	1.1	3.1
15		66.7	52.9	84.2	3.3	71.0	100.0	11.3	6.6
16		82.9	83.3	85.9	3.0	57.3	90.0	3.5	3.9
Average		67.9	82.5	86.0	5.8	82.5	91.7	11.8	8.1

ND, not detected.

Table 4. Survival rate of heterotrophic bacteria for various heavy metals and hydrocarbons in area C (Unit ; %)

Site	Metal & Hydrocarbon.	Ni	Co	Cd	Hg	Zn	Pb	pentane	hexane
1		89.2	72.5	>100	17.4	75.0	40.0	46.9	52.2
2		>100	54.8	>100	1.0	82.5	57.3	39.6	37.2
3		69.2	91.7	>100	2.4	95.2	50.7	62.7	16.0
4		92.9	>100	50.0	7.3	84.0	42.6	28.1	39.2
Average		87.8	79.8	87.5	7.0	84.2	47.7	44.3	36.2

율이 일반적으로 약간 높은 것으로 확인되었다. 또 B 지역의 결과와 비교할때, 니켈과 펜탄만 D 지역이 3.9%와 0.2% 정도 생존율이 높았을뿐 나머지는 거의 비슷하거나 약간 낮은 생존율을 나타내어 전체적으로 D 지역은 B 지역에 비해 중금속과 탄화수소에 대한 생존율이 거의 비슷하거나 약간 낮다고 볼 수 있다. 이 이유는 같은 학림층인 지질이지만 D 지역중 일부는 천복층인 암질이 일부 포함되어 중금속 내성에서 전체 평균치에서 약간 낮아진 것으로 생각될 수 있다. 그러나 전체적으로는 B 지역과 D 지역의 탄화수소와 중금속에 대한 생존율이 거의 비슷하다고 판단할 수 있어 결국 같은 암질로 구성된 곳의 탄화수소와 중금속에 대한 생존율은 거의 비슷함을 확인할 수 있었다. 그러나 가

스가 분출되었던 두호층의 C 지역과 비교하면 Pb를 제외하고는 모든 중금속과 탄화수소에 대한 생존율이 B 지역처럼 낮게 나타나 암상에 따라 생존율의 분포가 달라짐을 역시 확인할 수 있었다. 따라서 중금속과 펜탄, 헥산과 같은 액체성 탄화수소에 대한 저항성균의 분포조사 외에 가스성 탄화수소인 메탄, 에탄, 프로판, 부탄등을 자화하는 균의 분포를 조사하는 방법을 개발한 후, 석유탐사에 적용시켜 실제 석유가 매장되어 있는 지역에 대한 중금속과 탄화수소 저항성균 분포조사 및 가스성 탄화수소 자화균의 조사가 계속된다면 이 미생물학 탐사방법이 석유탐사에 하나의 보조자료로 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

Table 5. Survival rate of heterotrophic bacteria for various heavy metals and hydrocarbons in area D (Unit ; %)

Site	Metal & Hydrocarbon.	Ni	Co	Cd	Hg	Zn	Pb	pentane	hexane
1		52.0	51.5	74.2	0.6	66.4	>100	20.9	1.4
2		57.0	53.5	95.0	ND	90.2	75.4	9.0	3.0
3		>100	62.4	ND	0.2	>100	95.9	0.8	0.4
4		75.3	80.8	94.2	0.3	65.0	84.1	8.3	4.0
5		87.5	60.7	90.8	ND	36.1	>100	2.5	0.1
6		79.8	93.3	77.4	0.3	90.3	>100	20.7	3.5
7		55.1	84.1	72.4	ND	>100	>100	1.6	0.3
8		80.9	79.3	85.4	0.4	>100	>100	49.4	0.2
9		56.4	15.4	>100	ND	>100	93.7	5.4	2.5
10		61.5	64.3	>100	0.1	63.9	63.7	4.0	0.7
11		73.8	61.9	85.5	3.6	81.4	99.2	4.5	0.1
12		50.2	68.4	91.0	ND	97.7	97.1	4.7	21.2
13		85.3	>100	99.5	0.2	100.0	94.1	5.0	0.1
14		50.0	67.0	92.7	0.2	>100	74.0	1.4	0.1
15		44.1	43.6	100.0	0.2	>100	>100	2.7	0.1
16		47.1	81.9	79.4	0.1	33.5	76.5	2.3	0.1
17		100.0	>100	100.0	2.5	88.0	88.7	62.5	2.0
18		60.2	94.6	90.8	0.1	89.0	>100	0.5	0.1
19		85.7	48.6	>100	ND	>100	>100	4.8	0.2
20		54.2	71.6	>100	ND	32.0	96.6	65.0	17.8
21		74.3	>100	80.1	3.1	>100	68.2	11.9	0.2
22		46.6	55.4	86.1	0.1	73.1	>100	5.7	1.3
23		83.4	88.6	80.1	0.1	90.8	95.8	0.9	0.2
24		>100	>100	99.3	0.7	90.1	84.3	10.3	1.7
25		66.2	>100	38.8	10.3	37.4	32.0	13.8	5.2
26		95.2	>100	81.7	0.1	82.9	71.5	1.0	7.0
27		78.8	>100	>100	ND	97.1	94.0	1.8	1.7
28		98.1	70.0	90.2	ND	59.5	71.6	29.5	25.7
29		86.0	82.8	92.7	ND	34.8	93.3	2.9	0.6
30		70.0	>100	>100	0.1	87.5	100.0	5.8	2.2
Average		71.8	76.0	85.9	1.2	79.6	88.3	12.0	3.5

ND, not detected.

적 요

미생물을 이용한 석유탐사방법을 개발하기 위한 연구의 일환으로 탄화수소와 중금속에 대한 중속영양세균의 생존율 분포를 평판배양방법으로 조사하여 비교하였다. 포항지역의 도음산 부근(A, B 와 D 지역)과 애도원 지역(C 지역)에서 평균 50cm 깊이로 채취한 토양시료에 중금속 종류들은 2 시간 동안, 탄화수소는 1시간 처리하여 생존율을 비교한 결과, 중금속인 니켈(600ppm), 코발트(500ppm), 카드뮴

(100ppm), 수은(20ppm), 아연(400ppm), 납(500ppm)에 대해 A 지역은 각각 73.7%, 82.6%, 76.8%, 9.5%, 77.8%, 73.6%의 생존율을, B 지역은 67.9%, 82.5%, 86.0%, 5.8%, 82.5%, 91.7%의 생존율을, C 지역은 87.8%, 79.8%, 87.5%, 7.0%, 84.2%, 47.7%의 생존율을, D 지역은 71.8%, 76%, 85.9%, 1.2%, 79.6%, 88.3%의 생존율을 나타내었다. 또 탄화수소인 펜탄과 헥산을 각각 20% 처리한 결과 A 지역은 26.7%와 42.5%, B 지역은 11.8%와 8.1%, C 지역은 44.3%와 36.2%, D 지역은

12%와 3.5%의 생존율을 보였다. 이상의 결과 주로 역암으로 구성된 A 지역보다 역암과 이암 그리고 사암이 교대하는 B 지역과 D 지역의 균들이 중금속에 대한 생존율이 평균적으로 높았고, 또 주로 이암으로 구성되어 있고 한때 천연 가스가 분출되었던 C 지역의 균들이 중금속과 탄화수소에 대해 다른 지역보다 비교적 높은 생존율을 보여 암질에 따라 중금속과 탄화수소 저항균의 분포가 달라짐을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는한국자원연구소 위탁연구과제(KR-95(T)-6) 지원 연구비로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Mitchell, M. : Introduction to environmental microbiology. pp. 1-17, Prentice-Hall Inc., New Jersey(1974).
- Price, L. C., A Critical overview and proposed working model of surface geochemical exploration. M. J. Davidson ed., Unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas. pp. 245-304, A Symposium under the Auspices of the Institute for the Study of Earth and Man, Dallas, Southern Methodist University Press(1986).
- Barkay, T., Tripp S. C. and Olson B, H. : Effect of metal-rich sewage sludge application on the bacterial communities of grasslands. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49(2), 333 (1985).
- Davis, J. B. : Petroleum microbiology, pp. 604, Elsevier, New York(1967).
- Masters, B. A., Kelly E. J., Quaife C. J., Brinster R. L., and Palmiter R. D. : Targeted disruption of metallothionein I and II genes increases sensitivity to cadmium. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.*, 91, 584(1994).
- Mergeay, M., Nies D., Schlegel H. D., Gerits J., Charles P., and Gijsegem F. V. : *Alcaligenes eutrophus* CH34 is a facultative chemo-lithotroph with plasmid-bound resistance to heavy metal. *J. Bacteriol.*, 162(1), 328(1985).
- Nies, D. H., and Silver S. : Metal ion uptake by a plasmid-free metal-sensitive *Alcaligenes eutrophus* strain. *J. Bacteriol.*, 171(7), 4073(1989).
- Zeliber, J. L. Jr., Doughten M. W., Grimes D. J., and Colwell R. R. : Testing for bacterial resistance to arsenic in monitoring well water by the direct viable counting method. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53(12), 2929(1987).
- Kartsev, A. A., Tabasaranskii, Z. A., Subbota, M. I., and Mogilevskii, G. A. : 1959. Geochemical methods of prospecting and exploration for petroleum and natural gas. Los Angeles, University of California Press, 349(English Translation edited by P. A. Witherspoon, and W. D. Romey. The Russian original was published in 1954.)
- Duchscherer, W. : Geochemical methods of prospecting for hydrocarbons. *Oil and Gas Journal*, December 1, 194 (1980).
- Sivenas, P., and Beales. F., Electrochemical aspects of hydrocarbon reservoirs and surface seeps, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 68, 528(1984).
- Donovan, T. J., and Dalziel, M. C. : Late diagenetic indicators of buried oil and gas. U.S. Geological survey Open-File Report, 44, 77(1977).
- Chough, S. K., Choe M. Y. and Hwang I. G. : Fan Deltas in the Pohang Basin(Miocene), SE Korea. 3rd International Workshop on Fan Deltas Field Excursion Guidebook, 3-60(1993).
- Michaelis, G. B., and Riese W. C. : Geomicrobiological methods of ore and petroleum exploration. U. S. Patent, 5055397(1991).