

광양만 해역에서의 고효율 질소-인 제거 해양박테리아 탐색 및 분리

이건섭¹, 모상현², 정영재³, 김소정⁴, 김영준⁵, 이상섭⁶, 이택건^{1*}

¹한국해양연구원 남해특성연구부, ²바이오에피디엔씨 향노화연구소, ³신경대학교 생명공학과

⁴경북해양바이오산업연구원, ⁵청운대학교 화장품과학과, ⁶경기대학교 생명과학과

Isolation and Identification of Marine Bacteria with High Removal Efficiencies for Nitrogen-Phosphate In Gwangyang bay

Gunsup Lee¹, Sang Hyun Moh², Youngjae Chung³, So Jung Kim⁴,
Young Jun Kim⁵, Sang-Seob Lee⁶ and Taek-Kyun Lee^{1*}

¹South Sea Environment Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology

²Anti-aging Research Institute of BIO-FD&C Co.,Ltd.

³Department of Life Science and Biotechnology, Shin Gyeong University

⁴Kyeongbuk Institute for Marine Bio-Industry

⁵Dept of Cosmetic Science, Chungwoon University

⁶Department of Life Science, Kyonggi University

요 약 371 균주의 해양박테리아를 광양만에서 분리하였다. 우점종은 *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophila*, *P. fluorescens*, *P. paucimobilis*, *Chryseomonas luteola*, *P. vesicularis* 등이었다. 영양염과 유기물을 제거할 수 있는 해양박테리아를 탐색하기 위하여 암모니아성 질소(100 mg/L), 질산성 질소(100 mg/L) 및 인(10 mg/L)이 각각 포함된 10 mL의 marine broth 2216 (DIFCO)에 해양박테리아를 접종(1.0%, v/v)하고 12시간 배양하였다. 스크리닝 테스트 결과 25% 이상 COD_{Cr}을 제거하는 해양박테리아는 16종, 15% 이상의 암모니아 질소를 제거하는 해양박테리아는 9종, 60% 이상의 질산 질소를 제거하는 해양박테리아는 11종 그리고 90% 이상의 인을 제거하는 해양박테리아는 13종이 분리되었다. *Aeromonas hydrophila*, *Chryseomonas indologenes*, *Pseudomonas diminuta*, *Vibrio parahaemolyticus* 균주가 유기물 및 영양염류 제거 실험을 위해 선정되었다. 회분식 시험을 위해 4종의 해양박테리아를 COD_{Cr} 250 mg/L, NH₃-N 40 mg/L, NO₃-N 40 mg/L, PO₄³⁻-P 10 mg/L이 각각 첨가되어 있는 변형 marine broth에 접종하고, 10시간 배양하면서 제거효율을 측정하였다.

Abstract 371 strains of marine bacteria were isolated from Gwangyang bay in Korea. The dominant species were identified as *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophila*, *P. fluorescens*, *P. paucimobilis*, *Chryseomonas luteola* and *P. vesicularis*. To screen marine bacteria capable of removing nutrients and organics, marine bacteria was inoculated in 10 mL of marine broth 2216 (DIFCO) with NH₃-N (100 mg/L), NO₃-N (100 mg/L), and PO₄³⁻-P (10 mg/L) with 1.0% (v/v), and incubated for 12 h. Results from the screening test, showed that the removal efficiencies for COD_{Cr}, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, and phosphate were over 25% for 16 strains, 15% for 9 strains, 50% for 63 strains, and 15% for 80 strains, respectively. *Aeromonas hydrophila*, *Chryseomonas indologenes*, *Pseudomonas diminuta*, *Vibrio parahaemolyticus* were selected for nutrients removal experiments. For the batch test, 4 species of marine bacteria were inoculated in modified marine broth containing with nutrients(COD_{Cr} 250 mg/L, NH₃-N 40 mg/L, NO₃-N 40 mg/L, PO₄³⁻-P 10 mg/L, respectively), incubated for 10 hr and the removal efficiencies were measured.

Key Words : Marine bacteria, Ammonia, Nitrate, Phosphate, Removal efficiency

본 논문은 국토해양부(PJT200461)와 해양과학기술원(PE98753)의 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Taek-Kyun Lee

Tel: +82-55-639-8630 email: tklee@kiost.ac

접수일 12년 06월 15일

수정일 12년 07월 11일

게재확정일 12년 07월 12일

1. 서론

광양만은 남해특별관리 해역으로 인근에 어패류 양식장, 석유화학공업단지, 광양제철소 등이 위치하고 있으며, 공업화 및 도시화로 해양환경변화가 심해지고 있는 지역이다. 광양만의 수질오염원 중 공업하수, 가정하수, 농경지 유출수 등에는 다량의 질소와 인 화합물(영양염류)이 함유되어 있고, 이러한 육상오염원은 해양으로 유입되어 해역에서의 영양염 과부하를 유도하게 되고, 그 결과로 적조 등과 같은 사회적, 경제적 문제를 야기하고 있다. 일반적으로 하수처리장에서 대부분의 유기물질과 부유물질이 제거되지만, 질소, 인과 같은 영양물질의 상당량은 제거되지 않고 그대로 배출되어 심각한 환경오염을 일으키고 있다[1]. 특히, 순환여과 양식장의 경우, 정상적인 수질 유지를 위해서는 어류에게 해를 주는 질소 배설물인 암모니아의 제거가 가장 중요하다[2]. 이와 같은 수질에서의 질소와 인 제거에는 박테리아의 사용이 최근에 중요하게 인식되고 있다.

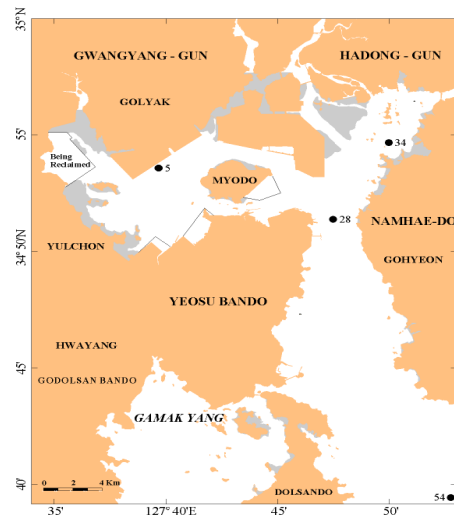
박테리아를 이용한 유기물 제거 공정은 하수종말처리장에서 주로 이용하고 있다. 특정 박테리아를 순수분리하고 이들을 우점화한 시스템을 개발하여 폐수처리 효율을 높이고, 유지관리를 쉽게 하려는 연구들이 활발히 이루어지고 있다[3]. 또한, 우리나라 연근해역의 박테리아에 대한 조사 및 연구는 꾸준히 이루어지고 있다[4-8]. 해양박테리아는 해양생태계의 유지를 위한 물질순환과 에너지 흐름 과정에서 중요한 역할을 담당하고 있다[9-13]. 유기물의 분해, 무기물의 산화환원작용 및 재생과정은 거의 대부분 종속영양세균에 의하여 수행된다[14-16]. 한편, 만이나 간조수역은 외해보다 종속영양세균의 수가 훨씬 많으며, 박테리아의 활성에 관련된 보고[17]를 포함하여 다양한 연구가 수행되고 있다. 그러나, 해양에서 분포하고 있는 박테리아를 이용하여 직접적으로 질소나 인과 같은 영양염류의 제거능을 조사한 연구는 국내에서는 아직까지 거의 연구된 바 없으며, 전세계적으로도 최근에 시도되고 있는 실정이다[18-19].

본 연구에서는 해양환경에 적응되어 있는 해양 박테리아 중 질소 및 인 제거능이 우수한 해양박테리아를 선별하고, 해양에서의 질소, 인 제거 공정에 적용하기 위하여 광양만에 분포하고 있는 해양박테리아를 분리하고 동정하였다. 또한, 예비 실험을 통하여 해양박테리아의 성장에 따른 질소, 인의 영양 염류와 유기물 제거 최적 시간을 도출하였으며, 동일한 시간에서 영양염류의 제거능을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 해양박테리아 순수분리 및 동정

광양만 내, 외만 4개 정점(그림 1)에서 표, 중, 심층의 해수를 채수하였다. 분리 및 배양을 위하여 marine broth(DIFCO 2216)와 sea water complete (SWC)를 배지로 사용하였다(표 1과 2).



[그림 1] 광양만에서의 해양박테리아 채집 정점(St. 5, 28, 34, 54).

[Fig. 1] Collection of marine bacteria in Gwangyang Bay

[표 1] Marine broth 2216 의 조성(DIFCO)

[Table 1] Marine broth 2216 (DIFCO)

Components	
Peptone	5.00 g
Yeast Extract	1.00 g
Ferric Citrate	0.10 g
Sodium Chloride	19.45 g
Magnesium Chloride, dried	5.90 g
Sodium Sulfate	3.24 g
Calcium Chloride	1.80 g
Potassium Chloride	0.55 g
Sodium Bicarbonate	0.16 g
Potassium Bromide	0.08 g
Strontium Chloride	0.034 g
Boric Acid	0.022 g
Sodium Silicate	0.004 g
Sodium Fluoride	0.0024 g
Ammonium Nitrate	0.0016 g
Disodium Phosphate	0.008 g
D.W.	1000 ml
Adjust to pH	7.0

[표 2] Sea water complete의 조성
[Table 2] Sea water complete (SWC)

Components	
Peptone	5.00 g
Yeast	3.00 g
Glycerol	3.00 ml
Sea water(adjust to D.W.)	75.0 %
Total Volume	1000 ml
Adjust to pH	7.0

채집한 해수를 주입평판법(pour plate)으로 생균측정(viable count)을 한 후, 각 콜로니를 취하여 배지에 접종하고, 25℃에서 24시간 배양하였다. 배양된 균주는 올림푸스 광학현미경(CH 30)을 이용하여 1,000배로 관찰하여 순수 분리 여부를 확인하였다. 순수분리된 균주는 그람염색, oxidase test, KOH test 결과에 따라 API kit(bioMerieux)를 사용하여 생리, 생화학 테스트를 실시하였다. 각 균주의 결과는 APILAB Plus program을 이용하여 동정하였다.

2.2 질소-인 제거능 해양박테리아 탐색

고효율 질소-인 제거능 해양박테리아를 탐색하기 위하여, 분리 동정된 해양박테리아 균주를 5 mL의 marine broth(DiFO 2216)가 채워져 있는 10 mL 시험관에 접종하여 28℃에서 3일간 호기조건으로 배양하였다. 배양액 1%에 암모니아성 질소 100 mg/L, 질산성 질소 100 mg/L, 인 10 mg/L를 첨가한 marine broth 10 mL을 채운 20 mL 시험관에 접종한 후, 12시간 배양하였다. 암모니아성 질소는 NH_4Cl , 질산성 질소는 NaNO_3 , 인은 KH_2PO_4 를 사용하였다. 12시간 배양 후 유기물, 질소 및 인의 제거율을 분석하였고, 효율이 가장 높은 해양박테리아를 선별하여 회분식 질소-인 제거 실험에 적용하였다.

2.3 회분식 질소 및 인 제거 실험

회분식 실험에 사용될 균주를 배양하여, 접종할 균주량을 확보하였다. 선별 균주 균주를 8 mL 시험관에 4 mL의 marine broth 배지(표 1)를 넣고 진탕배양으로 28-30℃에서 24시간 배양하였다. 배양 후, 다시 1000 mL 배양병에 500 mL의 배지를 채운 후, 배양액을 접종하여 3일간 배양하였다. 배양한 균주는 6000 rpm에서 10분간 원심분리하여 모았으며, 정확한 접종량을 위해 세포의 습중량을 측정하였다.

균주 접종 시 각 균주 당 1 g/L(wet weight; 개체수 1.5×10^8 CFU/mL)로 300 mL의 배양병에 들어있는 150 mL의 변형 Marine broth 배지(표 3)에 접종하였다. 변형

배지는 유기물 농도(COD_{Cr}) 250 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 40 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 40 mg/L, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 10 mg/L로 조정하여 사용하였다. 측정 및 분석을 위한 시료는 각각 0, 1.5, 3, 5, 10시간에 채취하였다.

[표 3] 변형 marine broth 2216의 조성
[Table 3] Modified marine broth 2216

Components	
Glucose	0.068 g
Disodium succinate	0.100 g
Absolute Ethanol	0.05 mL
Ferric Citrate (0.5% sol.)	1 mL
Sodium Chloride	19.45 g
Magnesium Chloride, died	5.90 g
Ammonium Chloride($\text{NH}_3\text{-N}$)	20 mg/L
Sodium Nitrate($\text{NO}_3\text{-N}$)	20 mg/L
Potassium Phosphate($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)	5 mg/L
Sodium Sulfate	3.24 g
Calcium Chloride	1.80 g
Potassium Chloride	0.55 g
Sodium Bicarbonate	0.16 g
Potassium Bromide	0.08 g
Strontium Chloride	0.034 g
Boric Acid	0.022 g
Sodium Silicate	0.004 g
Sodium Fluoride	0.0024 g
Ammonium Nitrate	0.0016 g
Disodium Phosphate	0.008 g
D.W.	1000 mL
Adjust to pH	7.0

2.4 측정 및 분석

균주의 생장은 OD_{600} 를 spectrophotometer로 측정 분석하였다. 그리고 균주의 생장에 따른 유기물, 질소 및 인의 측정을 위해서 각 시료는 MFS(0.2 μm) 실린지 필터와 5 mL 실린지를 사용하여 여과하여 사용하였다. COD_{Cr} 측정은 standard method 중 5220.D closed colorimetric method를 사용하였으며, 암모니아성 질소는 nessler reagent에 의한 발색법으로 사용하여 spectrophotometer (DR2010)으로 분석하였다. 질산성 질소와 인은 QuickChem 800으로 측정 분석하였다. 측정결과는 3번의 독립적인 반복실험 결과값의 평균값으로 표시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해양박테리아 분리 및 동정

해수 시료에 대하여 주입평판법으로 생균측정을 하여

콜로니 특징별로 선별한 결과, 분리된 전체 콜로니 수는 371개였고, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology[20]의 분류기에 따라 중 혹은 속명까지 동정한 박테리아는 총 341개였다. 분리된 전체 박테리아의 동정결과를 표 3에 나타내었다.

[표 4] 광양만에서 확인된 박테리아의 개수

[Table 4] Number of bacteria identified in Gwangyang Bay.

Identified bacteria	Identified bacteria
	32
<i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Methylobacterium</i>
<i>Aci.haemolyticus</i>	<i>mesophilicum</i>
<i>Aci.lwoffii</i>	<i>Microbacterium aborescens</i>
<i>Aer.salm.salmonicida</i>	<i>Micro. imperiale</i>
<i>Aeromonas sobria</i>	<i>Micro. laevaniformans</i>
<i>Agromyces ramosus</i>	<i>Moraxella spp.</i>
<i>Alcligenes faecalis</i>	<i>Pasteurella spp.</i>
<i>Aureobacterium saperdae</i>	<i>Pimelobacter acns</i>
<i>Aureobacterium testaceum</i>	<i>Pi. avidum</i>
<i>Pseudomonas diminuta</i>	<i>Planococcus spp.</i>
<i>Bergeyella azoohelcum</i>	<i>Plesio.shigelloides</i>
<i>Bacillus marins</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Brchbacterium faecium</i>	<i>Ps. fluoresces</i>
<i>Burkholderia cepacia</i>	<i>Ps. alcaligenes</i>
<i>Burkhol. pseudomallei</i>	<i>Ps. putia</i>
<i>Chryseomonas indologens</i>	<i>Ps. pickettii</i>
<i>Chry. luteola</i>	<i>Ps. paucimobilis</i>
<i>Chry. meningosept.</i>	<i>Ps. vesicularis</i>
<i>Chromobacterium violaceum</i>	<i>Salinococcus roseus</i>
<i>Clavibacter rathayi</i>	<i>Shewan.putrefaciens</i>
<i>Cla. xyli subsp.cynadontis</i>	<i>V.alginolyticus</i>
<i>Clostrium bifermentans</i>	<i>V.parahaemolyticus</i>
<i>Clo. chauvoei</i>	<i>Vibrio fluvialis</i>
<i>Com.testo./Ps.alc.</i>	<i>Vibrio metschnikovii</i>
<i>Flavi oryzihabitans</i>	<i>Vibrio vulnificus</i>
<i>Marinococcus halophilus</i>	<i>W.virosa/Emp.brevis</i>
	<i>Xanthomonas spp.</i>
	Unidentified
Total	371

순수분리 및 동정된 균주 중 *Pseudomonas aeruginosa*(33 균주), *Aeromonas hydrophila*(32 균주), *P. fluorescens*(26 균주), *P. paucimobilis*(26 균주), *Chryseomonas luteola*(21 균주), *P. vesicularis*(17 균주) 등이 우점하였다(표 4). 특히 *Pseudomonas* 속(126 균주)은 분리된 균주(371 균주) 중 33.9%가 넘는 주요종인 것으로 분석되었는데, 김과 이[14]가 조사한 수영만 결과와 유사하게 나타났다.

3.2 질소-인 제거능 해양박테리아 탐색

3.2.1 유기물 제거 해양박테리아 탐색

유기물 제거실험에 적용한 marine broth 2216 배지의 COD_{Cr} 초기농도는 7200 mg/L로 나타났으며, 12시간 배양 후 측정 결과 25%(1790.7 mg/L) 이상 제거한 박테리아는 16개 균주로 나타났다(표 5).

[표 5] 해양 박테리아에 의한 유기물의 높은 제거 효능

[Table 5] Result of highly removing COD_{Cr} by marine bacteria (above 25% removal efficiency, unit : COD_{Cr} mg/L)

Strain	Initial concentration	After 12hr. concentration	Rem.(%)
A705	7159.6	3552.3	50.4
I709-2	7159.6	3577.7	50.0
A709	7159.6	4067.5	43.2
H707	7159.6	4264.7	40.4
K710	7159.6	4501.5	37.1
I802	7159.6	5015.4	29.9
Z702	7159.6	5048.6	29.5
H708	7159.6	5079.0	29.1
H716	7159.6	5079.0	29.1
Z705	7159.6	5226.7	27.0
K706	7159.6	5290.3	26.1
F803	7159.6	5295.3	26.0
B701	7159.6	5320.7	25.7
B711	7159.6	5346.2	25.3
H803	7159.6	5346.2	25.3
G803	7159.6	5358.9	25.2

3.2.2 암모니아성 질소 제거 해양박테리아 탐색

Marine broth 2216 배지의 NH₃-N 농도를 100 mg/L로 조정하여 실험한 결과, 12시간 배양 후 15%(17.3 mg/L) 이상 제거한 박테리아는 9개 균주로 나타났다(표 6). 가장 높은 효율을 보인 A813 균주는 NO₃⁻의 제거율 또한 44.4%로 매우 높게 나타났다. 배지에 별도의 NO₂-N를 첨가하지 않았으나, nitrite 생성량이 22.11%로 나타났는데, 이는 해양 박테리아 중 질산성 질소를 이용하여 nitrite로 전환하는 박테리아가 있을 수 있는 것으로 판단된다(data not shown).

[표 6] 해양 박테리아에 의한 암모니아성 질소의 높은 제거 효능

[Table 6] Result of highly removing NH₃-N by marine bacteria (above 15% removal efficiency, unit : NH₃-N mg/L)

Strain	Initial concentraion	After 12hr. concentration	Rem.(%)
A813	104.3	58.0	44.4
B817-2	104.3	59.0	43.4
B802	104.3	62.5	40.1
L806	104.3	68.5	34.3
E805	104.3	72.0	31.0
J804	104.3	72.5	30.5
A814	104.3	76.0	27.1
E801-1	104.3	85.5	18.0
A812	104.3	87.0	16.6

3.2.3 질산성 질소 제거 해양박테리아 탐색

Marine broth 2216 배지의 NO_3^- 농도를 100 mg/L(초기 농도 77.75 mg/L로 측정됨)으로 조정하여 실험한 결과, 12시간 배양 후 60%(46.7 mg/L) 이상 제거한 박테리아는 11개 균주로 나타났다(표 7).

[표 7] 해양 박테리아에 의한 질산성 질소의 높은 제거 효율
[Table 7] Result of highly removing NO_3^- by marine bacteria (above 60% removal efficiency, unit : NO_3^- mg/L)

Strain	Initial concentration	After 12hr. concentration	Rem.
I707b	77.75	13.86	82.17
I708	77.75	16.94	78.21
A1001	77.75	21.00	72.99
I804	77.75	21.59	72.23
D702a	77.75	25.84	66.77
E1001	77.75	27.45	64.69
Z709	77.75	27.56	64.55
H1004	77.75	28.78	62.98
B710	77.75	30.17	61.20
L806	77.75	30.19	61.17
C716	77.75	30.84	60.33

3.2.4 인 제거 해양박테리아 탐색

Marine broth 2216 배지의 PO_4^{3-} 농도를 10 mg/L로 조정하여 실험한 결과, 12시간 배양 후 90%(17.3 mg/L) 이상 제거한 박테리아는 13개 균주로 나타났다(표 8). 특히, 일부 균주에서는 100% 모두 제거한 것도 있었는데, 대부분의 균주가 *Pseudomonas* 속에 속하는 것으로, 인 제거율이 높은 박테리아의 경우 NO_3^- 의 제거율도 최하 25% 이상의 분해를 하는 것으로 나타났다(data not shown).

[표 8] 해양박테리아에 의한 인산의 높은 제거 효율
[Table 8] Result of highly removing Phosphate by marine bacteria (above 90% removal efficiency, unit : PO_4^{3-} mg/L)

Strain	Initial concentration	After 12hr. concentration	Rem.
D810	9.55	0	100.0%
C808	9.55	0	100.0%
C803b	9.55	0	100.0%
C802	9.55	0	100.0%
C810	9.55	0.15	98.4%
J801	9.55	0.35	96.3%
C803a	9.55	0.39	95.9%
G803	9.55	0.62	93.5%
E804	9.55	0.65	93.2%
D809	9.55	0.81	91.5%
G805	9.55	0.86	91.0%
B708	9.55	0.9	90.6%
E802	9.55	0.95	90.1%

3.3 회분식 질소 및 인 제거 실험

스크린을 통해 선별된 균주 중 유기물 및 영양염류 제거에서 고효율을 보인 균주는 *Aeromonas hydrophila*, *Chryseomonas indologenes*, *Pseudomonas diminuta*, *Vibrio parahaemolyticus*로 나타났다. 선정된 4종의 해양 박테리아를 회분식 실험을 통하여 유기물, 질소 및 인 제거능 분석을 수행하였고, 대조균으로는 동정되지 않은 B818 균주를 사용하였다.

3.3.1 균주 성장 측정

성장곡선의 결과 *C. indologenes*와 *A. hydrophila*가 다른 균주에 비하여 성장률이 높았으며, 상대적으로 B818 균주의 경우 성장률이 떨어지는 결과를 보였다. 균주의 성장 시간은 대체로 3~5시간 정도에서 최고점에 도달하는 것으로 나타났으며, 10시간이 경과되면 생장율이 감소하는 것으로 나타났다(그림 2).

3.3.2 유기물 제거

유기물 제거는 *P. diminuta*와 *V. parahaemolyticus*가 효율이 높은 것으로 나타났다. *P. diminuta*는 10시간에 243.9 mg/L에서 48.1 mg/L까지 80.3%의 제거율을 보였으며, *V. parahaemolyticus*는 10시간에 243.9 mg/L에서 41.0 mg/L까지 83.2%의 제거율을 보였다 (그림 3).

3.3.3 암모니아성 질소 제거

실험된 4종의 해양박테리아 모두 암모니아성 질소의 제거율이 높은 것으로 나타났으며, 특히 3-5시간 이내에 90% 이상 제거하였다. 대조균주인 B818 균주는 제거율이 가장 낮게 나타났는데, 이는 이 균주의 특성상 성장률과 깊은 관계가 있는 것으로 추측된다 (그림 4).

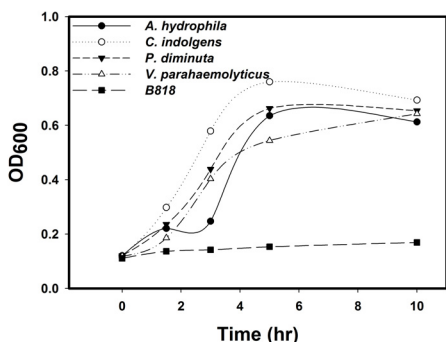
3.3.4 질산성 질소 제거

전체적인 질산성 질소의 제거율은 20~35% 정도로 낮게 나타났다. *A. hydrophila*의 경우 1.5시간에 30% 이상의 높은 제거율을 보였으며, 다른 균주들은 5~10시간에서 최고의 제거율을 나타냈다. 암모니아성 질소와 질산성 질소 제거율을 비교하여 볼 때, 각 균주별로 선호하는 질소원이 다른 것이 확인되었다(그림 4 and 5). B818 균주는 질산성 질소 제거율도 가장 낮게 나타났는데, 이 또한, 균주의 특성상 성장률과 깊은 관계가 있는 것으로 판단된다.

3.3.5 인 제거

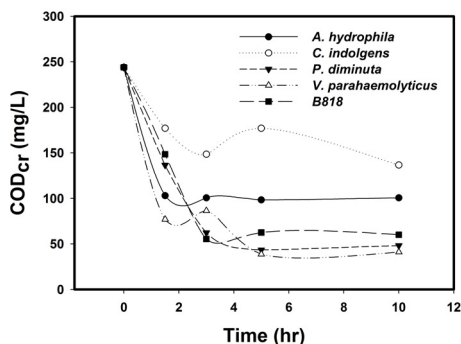
균주별 인 제거 실험 결과 B818 균주를 제외하고는

95% 이상의 높은 제거율을 나타냈으며, 대체로 3~5시간에 가장 높게 나타났다. 특히, *C. indologenes*는 1.5시간 만에 90%가 넘는 높은 제거율을 보였다. 인 제거율 또한, 10시간이 경과되면 제거율이 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 10시간 이후 성장률이 감소하는 것과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다(그림 6).



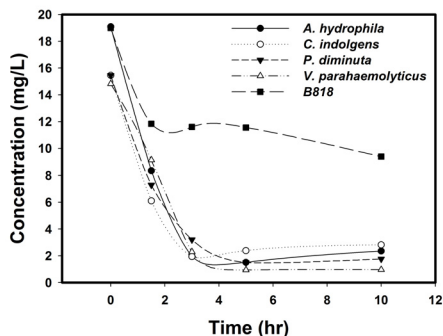
[그림 2] 선별된 해양박테리아의 성장곡선.

[Fig. 2] Groth curve of marine bacteria



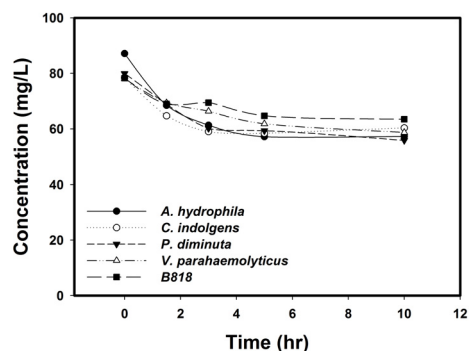
[그림 3] 선별된 균주별 유기물 제거효율.

[Fig. 3] Removal efficiency of COD_{Cr} by selected strains (10 hr, aerobic culture, 250 mg/L).



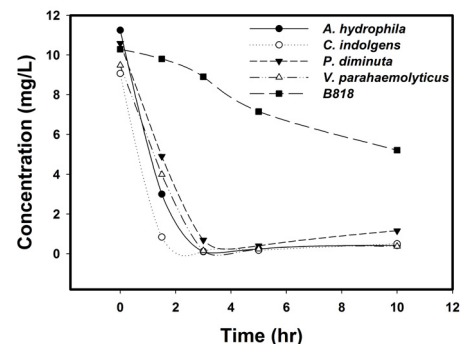
[그림 4] 선별된 균주별 암모니아성 질소 제거효율.

[Fig. 4] Removal efficiency of NH₃-N by selected strains (10 hr, aerobic culture, 40 mg/L)



[그림 5] 선별된 균주별 질산성 질소 제거효율.

[Fig. 5] Removal efficiency of NO₃⁻ by selected strains (10 hr, aerobic culture, 40 mg/L)



[그림 6] 선별된 균주별 인 제거효율.

[Fig. 6] Removal efficiency of phosphate by selected strains (10 hr, aerobic culture, 10 mg/L).

4. 결론

광양만에서 371 균주의 해양박테리아를 분리하였고, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophila*, *P. fluorescens*, *P. paucimobilis*, *Chryseomonas luteola*, *P. vesicularis* 등이 우점하였다.

영양염과 유기물을 제거할 수 있는 해양박테리아를 탐색한 결과 4종(*Aeromonas hydrophila*, *Chryseomonas indologenes*, *Pseudomonas diminuta*, *Vibrio parahaemolyticus*)의 해양박테리아가 유기물 및 질소-인 제거능이 우수한 것으로 나타났으며, 특히 *P. diminuta*는 유기물 및 질소-인 제거능이 고르게 높은 것으로 나타났다.

References

- [1] J. W. Fleeger, K. R. Carman, and R. M. Nisbet,

- "Indirect effects of contaminants in aquatic ecosystems", Sci. Total. Environ. 317, 207-233, 2003.
- [2] M. Lee and J. Park, "Isolation of Ammonia Oxidizing Bacteria and their Characteristics". J. Korean Fish. Soc., 31, 760-766, 1998.
- [3] S. S. Lee, H.-J. Joo, S. Lee, M. Chang, T.-K. Lee, H. Shim, E. Shin, "Development of Advanced Wastewater Treatment System using Phototrophic Purple Non-sulfur Bacteria", Kor. J. Microbial. Biotechnol. 30(2): 189-197. 2002.
- [4] Y. Park, W. Lee, J. Park, P. Lee, H. Kim, "Study on the Distribution of Marine Bacteria and the Consumption of Oxygen in Wonmun Bay". Bull. Korean Fish. Soc., 24, 303-314, 1991.
- [5] D. Kim and W. Lee, "Studies on Relationships between Marine Bacteria and Phytoplankton in Suyeong Bay". Bull. Korean Fish. Soc., 26, 446-457, 1993.
- [6] K. Jung and S. Shin, "Bacterial Flora of East China Sea and Yosu Coastal Sea Areas". J. Korean Fish. Soc., 29, 9-16, 1996.
- [7] H. R. Sung and S.-T. Ghim, "Bacterial Diversity and Distribution of Cultivable Bacteria Isolated from Dokdo Island". Kor. J. Microbiol. Biotechnol. Vol. 38, No. 3, 263-272, 2010
- [8] K. Lee, D. Ko. G. Kim, Y. Lee, C. Choi, Y. Choi, "Bacterial Productivity and Degradability for Organic Matter in The Coastal Area of East Sea". Korean J. Environ. Biol., 17, 59-69, 1999.
- [9] A.B. Dahle, and M. Laake, "Diversity dynamics of marine bacteria studies by immunofluorescent standing on membrane filter", Appl. Environ. Microbiol., 43, 169-176, 1982.
- [10] J. C. Fry, and T. Zia. "A method for estimating viability of aquatic bacteria by slide culture", J. Appl. Bacteriol., 53, 189-198, 1982.
- [11] G. Reinheimer, "Aquatic Microbiology". 3rd ed. Wiley and Sons, pp. 158-159, 1985.
- [12] B. C. Cho and F. Azam. "Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the oceans's interior". Nature, 332, 441-443, 1988.
- [13] U. L. Zweifel, N. Blackburn, and Å. Hagström. "Cycling of marine dissolved organic matter. An experimental system". Aquat. Microb. Ecol., 11, 65-77, 1996.
- [14] G. Bratback, "Bacterial biovolume and biomass estimation". Appl. Environ. Microbiol., 49, 1488-1493, 1985.
- [15] K. Gocke, "Heterotrophic activity. In Microbial Ecology of a Blackish Water Environment", Springer-Verlag, New York, pp. 198-222, 1977.
- [16] T. R. Parson, "A manual of chemical and biological methods for seawater analysis", Pergamon press, 1984.
- [17] L. H. Stevenson and C.W. Erkenbrecher, "Activity of bacteria in the estuarine environment". Academic Press, pp. 381-394, 1976.
- [18] J. Youa, A. Dasa, E. M. Dolanb, Z. Hua, "Ammonia-oxidizing archaea involved in nitrogen removal", Water Resear. 43, 1801-1809, 2009.
- [19] H. Chen, S. Liu, F. Yang, Y. Xue, T. Wang, "The development of simultaneous partial nitrification, ANAMMOX and denitrification (SNAD) process in a single reactor for nitrogen removal", Bioresource Technology, 100, 1548-1554, 2009.
- [20] N. Pfennig and H.G. Trüper. "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology". The Williams and Wilkins co., Baltimore. 1989.

이 건 섭(Gunsup Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 (이학석사)
- 2010년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 (이학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 해양과학기술원 연수연구원

<관심분야>
분자생물학, 해양 독성학

모 상 현(Sang Hyun Moh)

[정회원]



- 2003년 8월 : 광주과학기술원 생명과학과 (이학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재: 성균관대학교 나노과학기술협동학부 (이학박사과정)
- 2005년 11월 ~ 현재 : (주)바이오에프디엔씨 대표이사

<관심분야>
생명과학, 나노과학

정 영 재(Youngjae Chung)

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학박사)
- 1997년 3월 ~ 2007년 2월 : 서남대학교 생명과학과 교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 신경대학교 생명공학과 교수

<관심분야>

식물형태 및 계통분류학, 식물유전자원학

이 상 섭(Sang-Seob Lee)

[정회원]



- 1980년 2월 : 성균관대학교 생물학 (이학석사)
- 1988년 8월 : 성균관대학교 미생물학 (이학박사)
- 1999년 ~ 현재 : 경기대학교 이과대학 생명과학과 교수
- 2010년 1월 ~ 2011년 12월 : 한국미생물학회 부회장

<관심분야>

환경미생물학, 자원미생물학

김 소 정(so-jung kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 인제대학교(환경독성학 석사)
- 2006년 9월 : 해양연구원 남해연구구 연구원
- 2006년 10월 ~ 2007년 4월 : 대한적십자 연구원
- 2007년 5월 ~ 현재 : 경북해양바이오산업연구원 연구원

<관심분야>

생물소재 생화학

이 택 건(Taek-Kyun Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 생물학 (이학석사)
- 1998년 2월 : 성균관대학교 식물분자생리학 (이학박사)
- 1998년 9월 ~ 2000년 8월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2000년 9월 ~ 현재 : 해양과학기술원 남해특성연구부 책임연구원

<관심분야>

환경분자생리학, 해양환경독성학

김 영 준(Kim-Young Jun)

[정회원]



- 1979년 2월 : 인하대학교 대학원 고분자공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 : 충북대학교 대학원 화학공학과 (공학박사)
- 1982년 3월 ~ 1995년 2월 : 대전대학교 공업화학과
- 1995년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 화장품과학과 교수

<관심분야>

고분자합성, 화장품소재