

선박의 선미관 손상에 대한 발생원인 검증

박해진*, 김동영, 김영호
국방기술품질원 함정센터 함정2팀

Verification of the cause of damage to the ship's stern tube

Hae-Jin Park*, Dong-Young Kim, Young-Ho Kim
Naval sea Team 2, Defense Agency of Technology and Quality

요 약 선박의 선미관은 추진축을 지지하고 원활한 회전을 위한 윤활효과를 목적으로 윤활유 또는 해수가 적용되는 원통모양의 관으로, 수상함정에서는 주로 해수 윤활방식을 적용하고 있으며, 이는 해수 환경에 노출에 의한 부식의 가능성을 내재하고 있다. 선미관 내면 부식여부는 함정이 상가하여 축을 취외하고 내부를 확인하지 않는 한 명확하게 판단하기 힘든 구조로 되어 있다. 손상 발생 시기는 함정이 인도된 이후 약 10년이 경과한 시점으로 선미관이 위치한 구역 내부 유량증가로 해수유입을 확인하였고, 선미관의 손상여부 확인 결과, 총 3개소에서 손상이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 이번 사례는 손상이 발생된 이후에 부식발생을 인지하고 원인규명과 함께 보수작업을 하였다. 외부 도장상태는 양호하여, 선미관 내면부터 부식이 시작되었다는 것을 추정할 수 있었다. 초기 손상 추정원인은 미생물에 의한 부식이었으며, 이에 대한 재검증을 위하여 미생물 관련 부식 메커니즘 확인과 함께 차세대 염기서열분석을 통한 미생물 군집의 구성을 확인한 결과, 미생물에 의한 부식으로 보기 어렵다는 결론을 도출할 수 있었다.

Abstract The stern tube of a ship supporting the propulsion shaft is a cylindrical tube filled with lubricating oil or seawater for lubrication and smooth rotation. Seawater lubrication is mainly used in naval surface vessels, which are inherently prone to corrosion due to their exposure to the seawater environment. The internal corrosion of the stern tube has a structure that is difficult to determine unless the shaft is taken off the ship and the inspection is made. The damage occurred ten years after the ship was delivered, and the seawater inflow was confirmed from an increase in the flow rate inside during the checking of whether the stern tube was damaged. It was confirmed from the inspection that the damage occurred in a total of 3 places. This case recognized the occurrence of corrosion after the damage occurred, and repair was made along with the identification of the cause of damage. The presumed cause of the initial damage was corrosion by microorganisms. Out of confirming the composition of the microbial community through next-generation sequencing along with the confirmation of the corrosion mechanism related to microorganisms for re-verification, it was concluded that it is difficult to perceive corrosion by microorganisms.

Keywords : Stern Tube, Corrosion, MIC, NGS, SRB

*Corresponding Author : Hae-Jin Park(Defense Agency for Technology and Quality)

email: phj890518@naver.com

Received August 11, 2021

Accepted December 6, 2021

Revised September 2, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

수상함정에 사용되는 선미관(Stern Tube)은 추진축을 지지하고 원활한 회전을 위한 윤활효과를 주목적으로 설치된다. 구조적으로 외부 및 내부로부터 충격에 의한 파손의 가능성은 드물며 윤활에 사용되는 유체가 해수이기 때문에 부식에 의한 손상가능성을 내재하고 있다.

금속은 목적에 맞게 가공하여 활용하며, 이에 따라 가공된 금속이 자연환경에 노출되면 다시 본래 상태로 돌아가려는 성질을 가지고 이러한 현상을 흔히 부식(Corrosion)이라 한다.

해수에 노출된 금속의 부식은 해수에 녹아있는 염화나트륨(NaCl)으로 전기전도가 높아 하천수나 강물 등에 비해 부식의 속도가 빠르다.

금속은 다음과 같은 요소로 부식이 진행되는데 Fig. 1과 같이 양극(Anode), 음극(Cathode), 전해질(Electrolyte), 전기적 연결(Electrical Connection), 전위차(Potential Difference)이다[1].

금속이 전해질에 접한 환경 하에 있어 전기적으로 연결되어 있는 경우 전위차로 인하여 전위가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 전자가 이동하는데 여기서 양극은 상대적으로 이온화 경향이 강한 금속이며 음극은 그 반대의 금속을 의미한다.

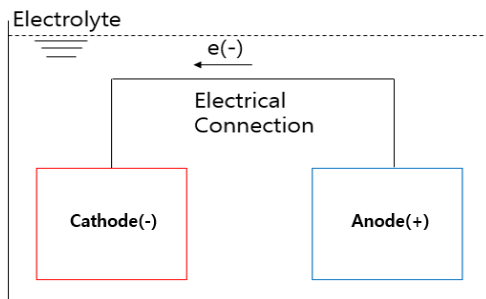


Fig. 1. Schematic of the Corrosion process

철의 경우 금속이 전해질(해수 등)에 노출되어 양극에서 철이 용해되어 Eq. (1)과 같은 산화반응이 일어난다



음극에서는 공기와 물에 존재하는 산소가 접촉하여 전자를 소모하여 Eq. (2)와 같은 환원반응이 일어난다.



여기서 양극부가 되는 철이 지속적으로 전자를 잃어 선미관은 산화반응으로 부식이 발생하는데 해수에 노출된 환경 하에 공식이 시작되면 자기증식(Self-propagating) 또

는 자동촉매(autocatalytic) 과정을 통하여 가속화된다. 금속표면의 부분 공식이 발생하면 내부와 외부의 환경차로 내부 용존산소가 먼저 소모되어 내·외부 용존산소차로 내부에서는 금속 용해반응이 일어나고 외부에서는 용존산소와 물이 반응하여 전자를 소모하는 반응이 발생한다. 이러한 부식반응이 지속되면, 내부 금속이온(양이온)의 농도는 높아지고 외부에서 유입된 염소이온(음이온)과 반응하여 pH가 저하하여 부식은 더욱 가속된다[2].

2. 본론

2.1 선미관 손상 확인

선미관은 긴 원통형의 관으로 추진축을 감싸고 있어 축지지 역할 및 윤활에 사용되는 해수의 누설을 방지하는 목적을 가지고 2축 기동 함정의 경우 좌·우현 각각 1개씩 총 2개의 관이 존재한다.

재질은 고장력 강재인 AH36강으로 일반적으로 선체의 외판, 격벽 등에 흔히 사용되는 강재로 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1. AH36 Material property

Material	Chemical Composition (wt%)				
	C	Si	Mn	P	S
AH36	0.18	0.10 ~ 0.50	0.7 ~ 1.60	0.035	0.035

손상 발생 시기는 함정이 인도된 이후 약 10년이 경과한 시점으로 선미관이 위치한 구역 내부 유량증가로 해수유입을 확인하였고, 선미관의 손상여부 확인 결과 Fig. 2와 같이 우현 2개소 및 좌현 1개소로 총 3개소에 파공이 발생한 것을 확인할 수 있었다.

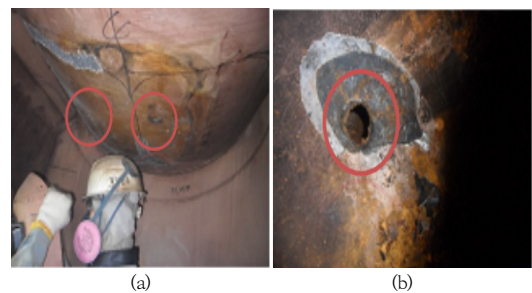


Fig. 2. Corrosion of Stern tubes

(a) Starboard side in ship (b) Port side in ship

손상부위의 발생형태는 Fig. 3과 같은 공식(Pitting corrosion) 형상을 띄고 국부적으로 발생하였다.

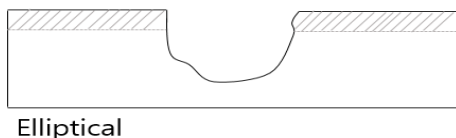


Fig. 3. Shape of corrosion pits

손상 강판의 두께는 12mm로 우현 2개소는 각각 $\varnothing$ 60mm, $\varnothing$ 30mm 좌현 1개소는 $\varnothing$ 50mm의 크기로 파공이 발생하였다.

Fig. 4에서 보듯이 선미관 외부 부식의 흔적은 발견되지 않았으며 파공 부위를 제외한 외부 도장상태는 양호하여 선미관 내면부터 부식이 시작되었다는 것을 추정할 수 있었다.



Fig. 4. The outside of the Stern tube

2.2 선미관 손상 초기 추정 원인

선미관 제작업체에서는 일반적인 해수에 의한 부식으로는 12mm의 강판의 파공발생은 힘들다는 판단과 함께 Fig. 5의 현장 부식생성물을 시편으로 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy) 관찰결과와 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) 성분 분석 결과를 통하여 원인을 추정하였으며, 그 근거는 아래와 같았다.



Fig. 5. Field collected corrosion sample

미생물유도 부식(Microbiologically Influenced Corrosion, MIC)환경에 노출된 탄소강의 부식생성물 관련 문헌의 Fig. 6과 현장 부식생성물의 SEM분석 결과로 나온 Fig. 7의 형상과 유사하게 나타났고 이것이 미생물의 영향으로 사료하여 황산염 환원박테리아(Sulfate Reducing Bacteria, SRB)와 철 산화 박테리아(Iron Oxidizing Bacteria, IOB) 등 MIC에 의한 부식의 가속화를 파공의 주원인으로 추정하였다.

EDS성분 분석결과 Table 2와 같이 원자농도로 탄소가 평균 6.4%정도로 과잉 검출되는데 미생물 부식의 부산물로 보았고, 그밖에 철 35.7%, 산소 59%로 높았고 나머지 원소는 Cu, Cl 등이 소량 검출된 것 이외에는 특이 사항이 없었다.

해당 원인분석결과와 검토를 진행하였으며 MIC로 인한 대부분의 사례는 국부부식을 유발하지만 SEM분석을 통한 시각적인 방법으로 문헌과의 형상을 비교하여 미생물의 종을 추정한다는 것은 신뢰도가 떨어지며, EDS분석 결과 화학성분에서 미생물 부식 관련 부산물로서 일반적으로 검출되는 황의 미 검출로 해당 원인분석결과 재검증이 필요하다고 판단하여 초기 손상 원인분석 결과에 대한 검토를 수행하였다.

Table 2. Corrosion sample Material property

Material	Chemical Composition (at%)				
	1	2	3	4	Aver.
C	5.5	7.1	6.7	6.6	6.4
O	55.1	52.5	66.4	61.9	59.0
Cl	-	0.3	0.3	-	0.2
Fe	39.3	39.9	32.4	31.1	35.7
Cu	-	0.2	0.2	0.1	0.1
Si	-	-	-	0.2	0.1

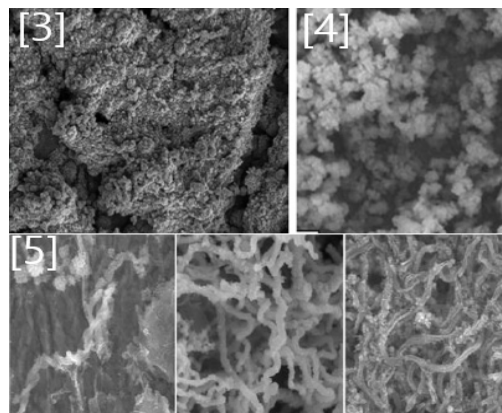


Fig. 6. SEM photographs of exposed to MIC environment shown in literature[3-5]

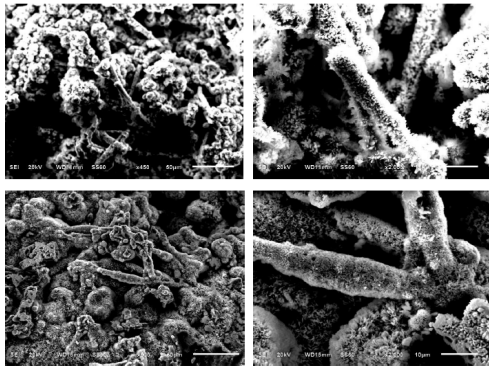


Fig. 7. SEM photographs result of field corrosion sample

2.3 초기 손상 추정원인 검증

먼저 대표적으로 알려진 SRB의 경우 최종 전자수용체(Terminal electron acceptor)로 SO_4^{2-} 를 환원시키고 음극 감극에 의한 전기화학반응은 Eq. (3) ~ (9)과 같은 부식생성물로 황화철이 생성된다[6].

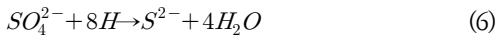
A1. Anodic reaction



B1. Cathode reaction



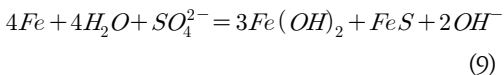
C1. SRB cathodic depolarization



D1. Corrosion products



E. Total equation

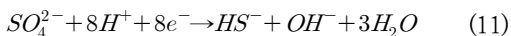


SRB 대사과정에 초점을 맞춰 Eq. (10) ~ (11)의 산화 및 환원 반응에 의하여 Eq. (12) ~ (13)을 통한 부산물로 황화철 및 황화수소가 생성될 수도 있다[6].

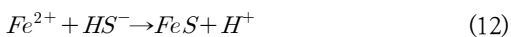
A2. Anodic reaction



B2. Cathode reaction



D2. Corrosion products



IOB와 IRB 존재 환경 SRB의 반응을 도표로 표현하면 Fig. 8과 같이 나타나고 SRB에 의한 부식이 진행되었을 경우 EDS 성분 분석결과 황이 검출되었을 것이라 추정할 수 있다.

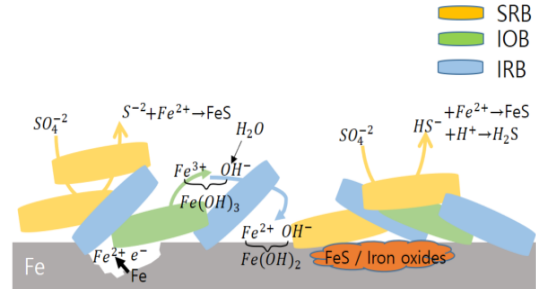


Fig. 8. Schematic diagram of the proposed reaction mechanism for acceleration of steel corrosion by IRB and IOB in the presence of SRB

미생물 유도부식의 가능성을 확인하기 위해 부식시편을 활용한 차세대 염기서열분석(Next Generation Sequencing, NGS)을 통하여 미생물 군집의 구성을 분석해 부식 환경 하에 있는지 검증하기로 하였다.

NGS분석이란 하나의 긴 DNA strand를 수백만 개 가닥으로 자른 후 유전자 증폭을 하고 이를 한꺼번에 시퀀싱하는 것으로 하나의 유전체를 수많은 조각으로 분해하여 각 조각을 동시에 읽어낸 뒤, 이렇게 얻은 데이터를 생물 정보학적 기법을 이용하여 조합함으로써 방대한 유전체 정보를 빠르게 해독하여 염기서열 분석 결과를 얻게 된다.

2008년도에 6개월의 소요기간에 약 10억원의 비용이 들어가던 기술은 현재 2일 만에 100만원 미만의 가격으로도 분석을 할 수 있게 되었다.

또한, 의학적 목적뿐만 아니라 특정 환경에서 수집한 샘플에 함유된 유전체를 분석함으로써 각 환경의 미생물 군집을 파악하고자하는 연구도 활발히 수행되고 있다[7].

NGS의 기본 분석 프로세스는 Fig. 9와 같고 현장에서 수집한 Fig. 10의 부식시편 2개를 활용하여 분석을 진행하였다.

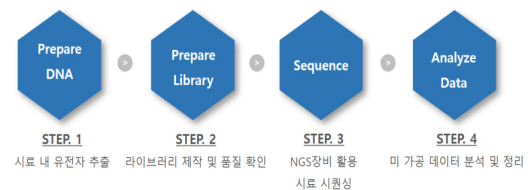


Fig. 9. 16S Metagenomics sequencing Workflow

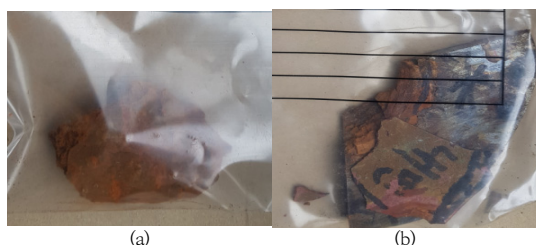


Fig. 10. Field collected corrosion sample
(a) Dtaq1 (b) Dtaq2

첫 번째 단계로 NGS분석을 위한 라이브러리 제작방법으로 시편 내에 genomic DNA을 분리 및 정제하기 위해 Fig. 11과 같은 과정을 통하여 DNA를 추출하고 total DNA의 농도를 정량한다.

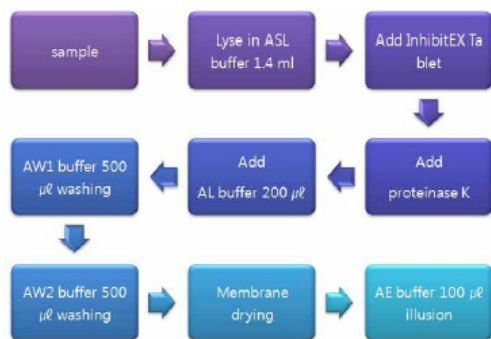


Fig. 11. Process of genomic DNA preparation and purification

이렇게 Prepare DNA과정을 수행한 후, 라이브러리 제작을 수행하며 과정은 Fig. 12와 같다.

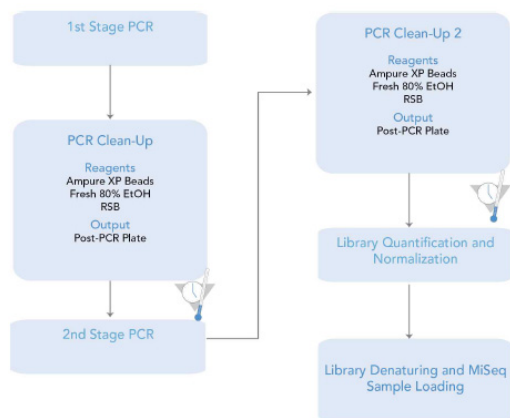


Fig. 12. 16S Library Preparation Workflow in illumina

1차와 2차 PCR 진행 후 최종적으로 만들어진 라이브러리는 품질을 확인하게 되며, DNA의 정량을 확인하고 NGS장비에 시료를 loading하여 데이터 분석 및 정리를 통하여 표본 내 분류학적 다양성과 관련하여 NGS를 통해 읽은 염기서열수와 다양성지수 및 검출비율은 Table 3과 같았다.

Table 3. Alpha Diversity Analysis result

Sample	Target Reads count	Shannon Species Diversity	Good's coverage of library(%)
Dtaq1	88,747	5.63	99.62
Dtaq2	80,691	6.21	99.53

종속과목강문제의 각각 박테리아의 구성비는 Table 4 ~ 9와 같고 방대한 군집자료 전부를 표현하기에는 제한되어 1%미만의 항목은 제외하고 Table을 작성하였다.

Table 4. Phylum level of bacteria in sample

Phylum	Dtaq1(%)	Dtaq2(%)
Proteobacteria	52.8187	49.5247
Planctomycetes	10.4375	15.5705
Nitrospirae	3.0863	6.6649
Chloroflexi	2.4035	5.4876
Actinobacteria	4.7517	5.1071
Acidobacteria	4.8295	4.6015
Bacteroidetes	5.6802	2.9012
Gemmatimonadetes	1.6609	2.6756
Deinococcus-Thermus	2.2232	2.5926
Firmicutes	10.5581	1.5082

Table 5. Class level of bacteria in sample

Class	Dtaq1(%)	Dtaq2(%)
Alphaproteobacteria	28.9891	25.0325
Gammaproteobacteria	13.6793	13.9569
Planctomycetia	8.3608	11.4684
Deltaproteobacteria	7.5755	8.6738
Nitrospira_c	3.0863	6.6649
MarineActino_c	2.0699	3.7972
Phycisphaerae	0.942	2.8628
Deinococci	2.2232	2.5926
Longimicrobia	1.1809	2.2258
SAR202_c	0.0124	2.0733
Flavobacteria	1.9392	1.8304
PDJQ_c	0.915	1.3942

GQ396871_c	0.6265	1.2951
Oligoflexia	0.6389	1.2467
CP011806_c	0.8552	1.2108
Clostridia	9.135	1.0584
PAC002280_c	0.6873	1.0348
EU700145_c	1.9505	0.8948
Betaproteobacteria	1.9223	0.5788

Table 6. Order level of bacteria in sample

Order	Dtaq1(%)	Dtaq2(%)
Planctomycetales	8.3608	11.4684
Chromatiales	8.9648	8.9204
Rhizobiales	15.0495	8.0195
Rhodospirillales	3.4232	6.9698
Nitrospirales	3.0863	6.6649
Rhodobacterales	3.7173	5.5793
Actinomarinales	2.0699	3.7799
Legionellales	1.2057	3.4663
Parvularculales	4.4678	3.4527
Trueperales	2.2198	2.5926
PAC002249_o	1.7995	2.4513
GU568020_o	1.1809	2.2258
Phycisphaerales	0.5702	2.1167
SAR202_o	0.0124	2.0733
Flavobacteriales	1.9392	1.8304
EU335161_o	0.915	1.3942
GQ396871_o	0.6265	1.2951
Myxococcales	1.9899	1.2901
CP011806_o	0.8552	1.2108
Clostridiales	9.1338	1.0584
PAC002280_o	0.6873	1.0348
EU700145_o	1.9505	0.8948

Table 7. Family level of bacteria in sample

family	Dtaq1(%)	Dtaq2(%)
Planctomycetaceae	7.7839	9.7433
Hyphomicrobiaceae	14.7689	7.6663
Nitrospiraceae	3.0863	6.6649
Rhodospirillaceae	2.9376	5.997
Rhodobacteraceae	3.6317	5.4975
Woeseiaceae	6.1287	5.3686
Parvularculaceae	4.4678	3.4527
Trueperaceae	2.2198	2.5926
Actinomarinaceae	2.0215	2.2667
GU568020_f	1.1809	2.2258
PAC002249_f	1.5291	2.1192
Phycisphaeraceae	0.5702	2.1167

HQ673956_f	0.009	2.0399
Flavobacteriaceae	1.9201	1.7338
Gemmataceae	0.5769	1.7251
PAC002137_f	0.0485	1.5132
Coxiellaceae	0.5544	1.4091
GQ396871_f	0.6265	1.2951
HQ697801_f	0.9082	1.2343
PAC002280_f	0.6873	1.0348
PAC000044_f	0.2907	0.8997
EU700145_f	1.9505	0.8948

Table 8. Genus level of bacteria in sample

Genus	Dtaq1(%)	Dtaq2(%)
Nitrospira	3.084	6.66
Woeseia	5.4999	4.4986
Hyphococcus	4.3562	3.4267
Methyloceanibacter	10.7226	2.6261
PAC001793_g	2.0102	2.253
PAC000036_g	1.7578	2.2171
HQ673956_f_uc	0.009	2.0399
Phycisphaeraceae_uc	0.4316	1.8329
GU118548_g	0.4102	1.7003
DQ395499_g	1.6429	1.6222
FN436135_g	1.28	1.5937
Rhodospirillaceae_uc	0.8733	1.5615
FJ543064_g	1.653	1.533
EF076134_g	0.2468	1.5181
PAC002137_g	0.0473	1.5033
Bythopirellula	0.5555	1.4215
EU373873_g	0.6502	1.2889
GQ396871_g	0.622	1.2814
DQ811851_g	0.2896	1.2368
HQ697801_g	0.9082	1.2207
EU491629_g	0.9183	1.1649
GQ246350_g	0.7921	1.1141
Filomicrobium	0.56	1.0993
Coxiellaceae_uc	0.409	1.0001

Table 9. Species level of bacteria in sample

Species	Dtaq1(%)	Dtaq2(%)
Unclassified in higher taxonomic rank	8.0532	19.1855
Methyloceanibacter caenitepidi group	7.8098	0.7448
Woeseia_uc	3.5821	3.0214
Nitrospira inopinata group	2.8891	6.1382
Methyloceanibacter marginalis	2.8159	1.8713
GQ274229_s	2.7843	2.662

DQ395495_s	2.248	1.7127
GQ365185_s	1.9223	0.0285
JN672611_s	1.706	1.2257
EU287141_s group	1.5696	0.6568
EU373951_s	1.4434	0.6829
HM799121_s	1.2969	0.4784
PAC000036_g_uc	1.2553	1.4797
GU118279_s	1.2451	1.5566
EU328024_s	1.1876	0.0012
HQ190975_s group	1.1324	0.1822
Nitrosomonas_uc	1.1212	0.0818
Fusicatenibacter saccharivorans	1.0829	0.0198
JF449941_s	1.0389	1.564
Sulfitobacter guttiformis	1.0355	0.6444
GQ346840_s	0.8721	1.124
EU491629_s	0.8271	1.0559
FM242367_s	0.8057	1.0943
JN672662_s	0.6434	1.2653

분석결과 두 시료의 미생물 군집은 대체적으로 유사하게 나타났으며, 계열 별로 우점하는 미생물군집이 차이를 보이는 항목도 존재하였다.

Table 4에서 문(Phylum) 계열에서 미생물 군집을 살펴보면 모두 프로테오박테리아(Proteobacteria)문이 각각 52.8%, 49.8%로 가장 높은 비율로 우점하고 있고 Table 5의 강(Class) 계열에서는 알파프로테오박테리아(Alphaproteobacteria)가 최우점하고 있었고 다음으로 감마프로테오박테리아(Gammaproteobacteria)가 우점하고 있었다.

Table 8의 속(Genus) 계열의 결과에서 시료 Dtaq1은 메틸로오세니박터(Methyloceanibacter)가 10.7%, 시료 Dtaq2는 니트로스피라(Nitrospira)가 6.6%로 우점을 차지하고 있었다. 강 계열의 알파프로테오박테리아와 감마프로테오 박테리아에는 MIC 관련 박테리아가 속해있는 군집이기는 하나 프로테오박테리아는 현재까지 명명된 미생물에서 가장 크고 대서적으로 다양한 문으로서, 그 중 하위계열의 감마프로테오박테리아는 프로테오 박테리아의 가장 큰 강이며 알파프로테오박테리아는 두 번째로 큰 강으로 이것으로 부식 관련 미생물을 판단하기에는 무리가 있었다.

부식에 영향을 미칠 수 있다고 알려진 박테리아 속(Genus)계열을 Raw data에서 추출한 결과는 Table 10과 같았고 MIC 관련 미생물은 미 검출되거나 다른 군집과 비교하여 상대적으로 구성비가 극히 낮은 것을 확인할 수 있었다.

Table 10. Genus level of corrosion associated bacteria in sample

Genus	Dtaq1(%)	Dtaq2(%)	Remark
Thiobacillus	0	0	Iron-oxidizing bacteria
Leptothrix	0	0	
Gallionella	0	0	
Escherichia	0.1983	0.0459	Iron-reducing bacteria
Pseudomonas	0.1025	0.0459	
Bacillus	0.027	0.0372	
Vibrio	0.0011	0.0074	
Arthrobacter	0.0023	0	
Micrococcus	0.0101	0	Sulphate-reducing bacteria
Desulfuromusa	0	0.1091	
Halodesulfobivrio	0.0056	0.0136	
Dethiosulfatibacter	0	0.0062	
Desulfuromonadaceae_uc	0	0.0037	Sulfur-oxidizing bacteria
Thioalkalispira	0.0101	0.0062	
Thioalkalispiraceae_uc	0	0.0062	
Beggiatoaceae_uc	0	0.0037	

3. 결론

초기 선미관 파공의 원인분석에 대한 검토를 실시한 결과, 다음과 같은 연구결과로 미생물을 부식 가속의 주요 원인으로 특정 할 수 없다는 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, EDS 성분분석 결과에서 높은 비율을 차지한 탄소, 산소, 철의 경우 미생물 관련 부식메커니즘과 관련성이 없었고, 미생물 유도부식으로 대표적으로 알려진 황산염환원 박테리아의 경우 부식 메커니즘에 의해 산화와 환원 과정에서 황 성분이 포함된 부식생성물이 일반적으로 존재하나, EDS 성분분석 결과 황 성분은 미 검출되었고, 구조적으로 축이 회전하여 선미관은 해수가 순환하며 정박 중에도 해수는 유입되고 빠져나가 혐기성 박테리아가 번식하기에는 힘든 환경이다.

둘째, 차세대 염기서열분석(NGS) 결과로 미생물 군집의 구성을 확인한 결과 부식 관련으로 잘 알려진 미생물들은 미 검출 되거나, 다른 군집과 비교하여 상대적으로 구성비가 극히 낮아 미생물에 의한 부식에 노출된 환경으로 보기 어려워, 이를 직접적인 원인으로 추정하기에는 무리가 있었다.

과거 몇몇 함정에서도 손상개소의 위치는 다르지만 이와 유사한 사례가 발생하였으며, 도장의 박리 이후 이미 부식이 진행된 경우 제작과정의 문제인지, 운용상 발생한

문제인지 등의 직접적인 원인규명을 할 수 없었는데, 부식 당시 환경의 재현이 힘들고 도장의 박리시점이 언제 인지를 알 수 없는 것이 공통된 사유였고 이번 사례도 비슷한 상황이었다.

함정에서는 해수에 노출되어 부식의 위험성을 가진 장소에 1차적으로 방청 도료를 통하여 부식을 방지하고 있으며, 이러한 도장박리 이후 부식을 방지하기 위해서는 도장검사 시 단순 도막 두께 및 외관상 이상 유무 확인에서 나아가 도장의 작업 환경에서도 정해진 작업 기간을 따르고, 고습도하에서 도장을 피하지 않는다면 함 운용 중 도장 박리가 발생한 가능성이 있어 주의해야한다.

선미관과 같은 도장의 이상 유무 및 금속의 부식을 직접 확인하기 힘든 개소는 초음파탐상시험(Ultrasonic Testing)과 같은 비파괴검사를 통해서 주기적으로 상태를 확인 해주는 것도 중요하며, 부식방지를 위한 희생양극 설치의 경우 운용 중 Anode 이탈 시 축에 손상을 줄 수 있고 보수 작업 시 축 취외가 필요한 애로사항으로 현재는 설치가 제한되지만, 이를 설치하고 운용할 수 있는 방안 또한 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

References

- [1] M. P. Schultz, G. W. Swain, "Corrosion Basics", NAOE at the United States Naval Academy, p.1192, 1997
- [2] K. J. Kim, "Corrosion and Corrosion Protection of Ships", *Journal of the Korea Ship Safety Technology Authority*, Vol.17, pp.44-54, 2005
- [3] A. Sorkhabi, H. Moradi-Haghighi, M. Zarrini, G. Javaherashiti, "Corrosion behavior of carbon steel in the presence of two novel iron-oxidizing bacteria isolated from sewage treatment plants", *Biodegradation*, VOL.23, pp.69-79, 2012.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10532-011-9487-8>
- [4] H. Liu, T. Gu, C. Fu, G. Zhang, "Corrosion behavior of carbon steel in the presence of sulfate reducing bacteria and iron oxidizing bacteria cultured in oilfield produced water". *Corrosion Science*, VOL.100, pp.484-495, August 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2015.08.023>
- [5] J. Mcbeth, B. Little, R. I. Ray, K. M. Farrar. "Neutrophilic Iron-Oxidizing "Zetaproteobacteria" and Mild steel corrosion in Nearshore Marine Environment", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.77, pp.1405-1412, February 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02095-10>
- [6] A. W. Dawuda, "A mechanistic and a probabilistic model for predicting and analyzing microbiologically influenced corrosion", Master's thesis, Memorial

University of Newfoundland, pp.27-28, October 2019.

- [7] K. Faust, J. Raes, "Microbial interactions: form networks to modes", *Nat Rev Microbiol*, Vol.10, pp.538-550, July 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro2832>

박 해 진(Hae-Jin Park)

[정회원]



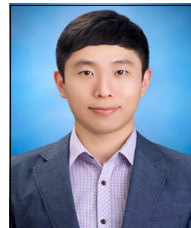
<관심분야>

부식, 소음, 진동, 내연기관

- 2015년 8월 : 동아대학교 기계공학 (공학사)
- 2017년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

김 동 영(Dong-Young Kim)

[정회원]



<관심분야>

건축시공, 건축구조, 발전설비

- 2008년 2월 : 한양대학교 전자전 기공학 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 2010년 6월 : 일본 스미모토 화학그룹 동우화인켄(주)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

김 영 호(Young-Ho Kim)

[정회원]



<관심분야>

소음, 진동

- 2017년 2월 : 동아대학교 기계공학 (공학석사)
- 2019년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원