

우리나라 근해 해양환경에 따른 가스터빈엔진 부식에 대한 연구

오경원¹ · 임세한^{2,†}

¹호원대학교 국방과학기술학부, 해군사관학교 군사학처

²해군사관학교 해양학과

Corrosion of the Gas-Turbine Engine According to the Environment of the Korean Seas

Kyungwon Oh¹ · Sehan Lim^{2,†}

¹Department of Defense Science & Technology, Howon University, ROK Naval Academy

²Department of Oceanography, ROK Naval Academy, Jinhai, Korea

Abstract

The sea of the Korean peninsula has undergone various marine changes, including naval vessels, naval operational aircrafts, air force fighters, coastal airports and airfields. In particular, salt directly affected by the marine environment, equipment operating under a high temperature / high speed as the gas turbine is the high temperature corrosion (Hot Corrosion) caused by sulfur components and salinity of the fuel used. When the height of the demister (air intake) is less than 7 m, the salinity of the salt entering the sea increases and the corrosion increases rapidly. In addition, the weapon systems operating in the East Sea than in the West Sea showed a 17% increase in the corrosion rate due to the relatively high salinity scattered by saline, wind, and wave. In order to minimize the salinity inflow, it should be operated at more than 13 m from the sea to minimize rapid hot corrosion.

초 록

한반도의 근해는 다양한 해양변화가 있으며, 작전을 수행하는 해군함정, 함재기, 해상운용 비행기, 공군의 전투기, 해안에 위치한 공항 및 비행장 등이 영향을 받는다. 특히 해양환경의 직접적인 영향인 염분은 가스터빈엔진과 같이 고온/고속으로 운용되는 장비에 연료의 황성분과 화학적 변화로 고온부식(Hot Corrosion)이 발생시킨다. 한계값으로 정의 할 수 없지만 염분에 의한 부식은 디미스터(공기흡입구) 높이가 7m 이하일 경우 해상에서 유입되는 염분이 증가하여 부식이 급격하게 증가하였다. 또한 서해보다 동해에서 작전임무를 수행하는 무기체계는 염분도, 풍량, 파고에 의해 비산되는 염분이 상대적으로 많아 부식율이 17% 증가함을 확인하였다. 해상에서 가스터빈엔진을 운용하는 해상무기체계는 염분유입을 최소화하기 위해 해상으로부터 13m이상에서 운용되어야 급격한 고온부식을 최소화 될 것으로 본다.

Key Words : Gas-turbine Engine(가스터빈엔진), Hot Corrosion(고온부식), Saline inflow(염분유입)

1. 서 론

현대전의 양상은 ISR(전장가시화), C4I(정보공유), PGM(장사정, 정밀화)로 이뤄지는 복합체계(C4ISR + PGMs) 형태로 이뤄지고 있으며, 감시, 지휘통제, 타격

체계의 복합 자동화를 통해 시너지를 극대화하고 있다. 특히 한반도 안보환경이 무기체계 발전으로 인해 작전환경이 연안에서(coastal area) 원해로 확대되었고 해상전 또한 복잡 다양한 형태의 연안해전(littoral warfare)으로 전환되고 있다. 이러한 양상에 맞춰 요구되는 능력은 장거리 정밀타격, 광역 해양감시/통제 및 장기 작전 능력 보유와 대잠전/대공전/대수상전/대전자전/대유도탄전 등 복합전 수행능력 보유를 지속적

Received: Mar 14, 2017 Revised: Apr 21, 2017 Accepted: Apr 24, 2017

† Corresponding Author

Tel: +82-55-549-1493, E-mail: shlim@navy.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

으로 요구하게 되었다. 해군 함정과 함정에서 운용하는 함재기, 공군의 전투기 등은 주로 우리나라 근해에서 작전임무를 수행하고 있고, 바다에 인접에 있는 인천 영종도 국제공항, 제주 국제공항과 다수의 군비행장이 주변 해양환경의 영향을 받는 지리적인 위치에 있다.

해양환경을 구성하는 해양과 기상 현상은 Fig. 1과 같이 매우 다양한 시간주기와 공간규모를 가진다. 바람의 세기, 지속시간, 취송거리에 따라 수 초 ~ 수 분 주기의, 수 십 cm ~ 수 m에 달하는 파고의 풍랑은 발생지점으로부터 확산되어 해안에 이르게 되며, 그 영향권이 수 백 km에 이르기도 한다. 우리나라 근해에서 일상적으로 볼 수 있는 조석(tide)현상도 태양과 지구, 지구와 달 사이에 작용하는 인력과 원심력에 의해 만들어 지는 파랑에 의한 것이다.[1] 일반적으로 12시간과 24시간 조석주기에 의한 조차가 크게 나타나는데 같은 지점에서 조차(tidal range)와 고조(high tide) - 저조(low tide)시가 매일 조금씩 달라지며 같은 조석 주기에도 지형의 영향으로 조차가 매우 크게 나타나기도 작게 나타나기도 한다. 또한, 비교적 지속적이고 일관된 해수의 흐름인 해류(ocean current)도 특정 해역을 항상 일정한 속도와 규모로 흐르지 않는다. 결국, 해류에 의해 발생하는 와동류(eddy)도 생성규모와 지속시간이 변화무쌍하여 수 km에서 수 백 km 반경에 짧게는 수 일에서 길게는 수 십 일 이상을 지속하는 경우도 있다. 기상현상 또한 해양현상 못지않게 다양한 시간주기와 공간규모를 가지고 있다. 우리나라 여름~가을철 대표적인 기상현상인 태풍(Typhoon)은 적도 태평양 근해에서 열대성 저기압(tropical depression)으로 발생되고 해수표면 온도와 주변 기단의 영향에 따라 강한 태풍이나 중형/소형 태풍으로 발달하면서 해양-대기 상태에 따라 이동 속도와 진행방향, 강풍이 부는 영향권이 계속 바뀌어 예측과 예보에 어려움을 주고 있다. 특히 적도 태평양에서 무역풍의 세기가 약해져 중남미 연안 해양 저층의 차가운 해수 용승(upwelling)이 사라지고 이에 따라 적도 태평양 전체 해역이 뜨거워져서 이상 기상을 초래하는 엘니뇨(El Niño) 현상은 20세기 중반까지 중남미 대륙에 국한된 것으로 인식되었으나 이제는 전 지구적인 규모

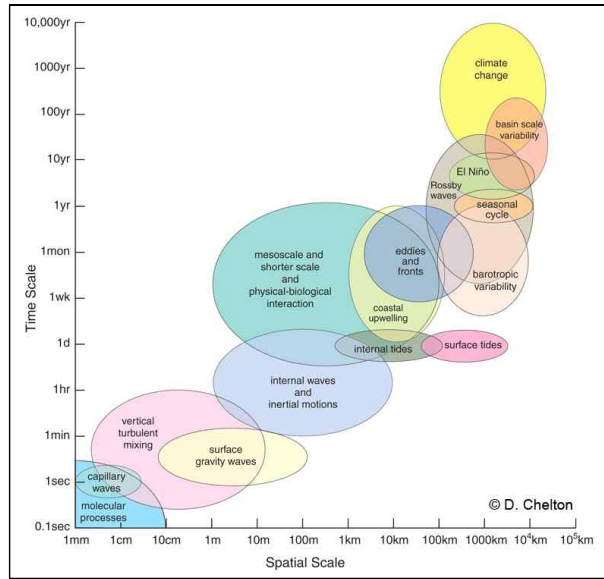


Fig. 1 Marine Atmospheric Environment Information[1]

의 이상 기상에 영향을 미친다는 것이 밝혀졌으며 영향 규모면으로 볼 때 가장 큰 해양-기상현상 중의 하나라고 볼 수 있다. 즉, 해양환경은 공간적으로 수 미터(m)에서 수백 킬로미터(km)의 넓이와 수십 수천 미터(m)에서 고도 수 십km까지의 영역에 달하는 다양한 규모와 더불어 수 초에서 수 백년 이상의 시간 주기를 가지는 현상들이 동시 다발적으로 중첩되어 발생하고 진행되며, 한편으로는 소멸되기도, 더 발달되기도 한다.

우리나라 근해에서 작전을 수행하는 무기체계와 민간에서 운용하는 각종 항공기들은 해양환경에 따라 장비운용에 직간접적 영향을 미치게 된다. 이중 해군 무기체계가 해류, 조석/조류, 파랑, 해상풍, 태풍, 해일 등이 직간접적으로 물리적 영향을 받고 있다. 특히 바다에서 해풍에 의해 비산되는 염분이나 황사 등으로 유입되는 규소는 고속으로 운용되는 가스터빈엔진 성능에 지대한 영향을 미치게 된다[2]. 해상풍 등으로 유입되는 염분은 연료내 황성분과 고온에서 부식성이 높은 물질로 변화되며 황사는 작동윤활계통에 유입되어 장비고장을 발생시키는 등 해양환경 특성 등이 무기체계 성능에 직간접적인 영향을 미치고 있다. 참고 문헌에 의하면 해수표층의 염분도(psu)는 담수(fresh water)의 유입/유출이 직접적인 영향을 미친다. 일반적으로 우리나라 근해의 평균 해수표층염분도는 약 34

Table 1 Ocean Weather Conditions by Sea Area(period : 1981 ~ 2010)

구분	주요해양기상요소	동해	서해	남해
평균값	표층수온 (℃)	13.42	13.93	19.87
	표층염분 (psu)	33.80	31.42	33.61
	해상풍 (m/s)	6.3	5.6	6.3
	유의파고 (m)	0.64	0.40	0.66
	기온 (℃)	10.6	12.3	16.5
	강수량 (mm/day)	2.40	1.68	3.23
	증발량 (mm/day)	3.05	2.62	4.78
	해면기압 (hPa)	1014.2	1017.0	1015.8
	상대습도 (%)	74	71	74
평균값의 변동범위 (최소~최대)	표층수온 (℃)	-2~28	0~28	10~28
	표층염분 (psu)	31.4~34.5	29.0~33.6	29.0~35.0
	해상풍 (m/s)	3~11	3~9.2	3~9.2
	유의파고 (m)	0.05~2.2	0.05~1.6	0.15~1.6
	기온 (℃)	-6~28	-4~28	8~28
	강수량 (mm/day)	0~15	0~17	0~17
	증발량 (mm/day)	0.0~10.0	0.0~8.5	0.0~12.5
	해면기압 (hPa)	1003~1027	1002~1032	1003~1027
	상대습도 (%)	50~96	50~98	56~92

psu 정도로 알려져 있으며 지형적 특징과 담수 유출입의 차이로 약 1 psu 내외의 동해-서해-남해간 해역별 차이와 계절적 차이가 존재하는 것으로 보고되고 있다 [3].

2. 우리나라 근해 해황 분석

우리나라 근해 해황의 특징은 뚜렷한 계절변동과 더불어 동해-서해-남해의 해역별 차이가 뚜렷하다는 것이다. 일반적으로 동해는 평균수심 약 1600m 이상의 깊은 수심에 북한한류와 동한난류와 같은 해류 및 와동류, 수온전선과 같은 중규모 해양현상이 활발하다. 반면 서해는 평균수심 40여 m 내외로 복잡한 해안선과 조석에 의한 조류가 탁월한 해역이며, 남해는 해류와 조석/조류 현상이 활발하며 전 영역이 대륙붕 지대로 연안에서 외해로 나갈수록 수심이 깊어진다. 우리나라 근해의 해황을 좀더 정량적으로 분석해보기 위하여 수십년 규모의 해양대기환경자료를 활용하였다. 수십년 규모의 전지구 해양, 대기 자료는 유럽중기예보센터 재분석자료(ECMWF)와 미국국립대기과학연구소

환경예측센터 재분석자료(NCEP)가 대표적이다. 이들 자료 중, 공간 해상도가 상대적으로 높은 유럽중기예보센터 자료를 분석에 활용하였다. 주요 해양대기환경 분석 요소는 기온, 기압, 습도, 해상풍, 표층수온, 표층염분, 강수량, 증발량, 유의파고의 총 9개 요소를 선정하였다. 표층수온은 미국해양대기청의 인공위성관측(AVHRR)과 현장관측자료를 토대로 객관적 내삽법을 통해 산출된 해면수온(OISST)자료를 이용하였다. 표층염분은 영국의 해들리센터에서 전세계 관측자료를 수집, 분석하여 구성한 표층염분 자료를 분석에 이용하였다. 분석에 활용된 자료의 기간은 1980~2010년 (총 31년)이며 표층수온의 경우 위성관측이 가용한 시기인 1982~2010년의 자료를 분석하였다. 이러한 변동이 계절별로는 어떻게 다르게 나타나는지 살펴보기 위해 모든 변수에 대해 월별로 평균, 최대, 최소, 분산, 표준편차를 계산하여 과거 30여년의 해양기상의 평균적인 분포와, 또 계절별, 해역별 연변동 특성을 요소별로 살펴볼 수 있다(Table 1). 주요해양기상요소의 기후치 분석결과 우리나라 근해에서 볼 수 있는 특징은 바다 표층수온의 경우 남해가 약 20도로 가장 높으며 서해가

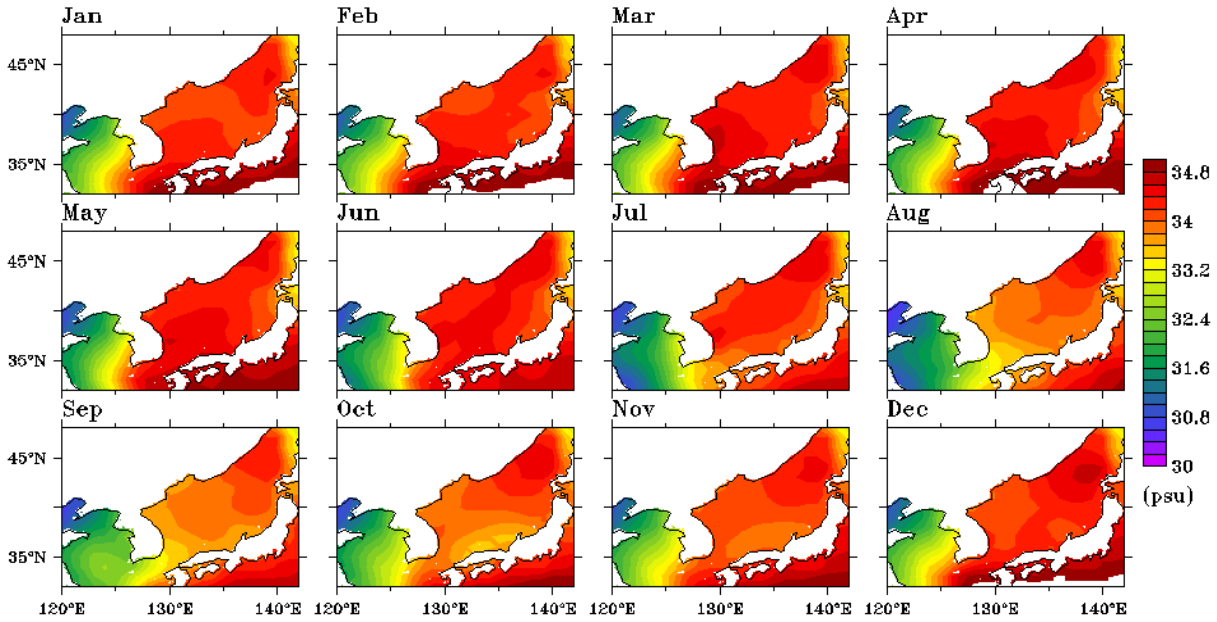


Fig. 2 Sea Surface Salinity(max)

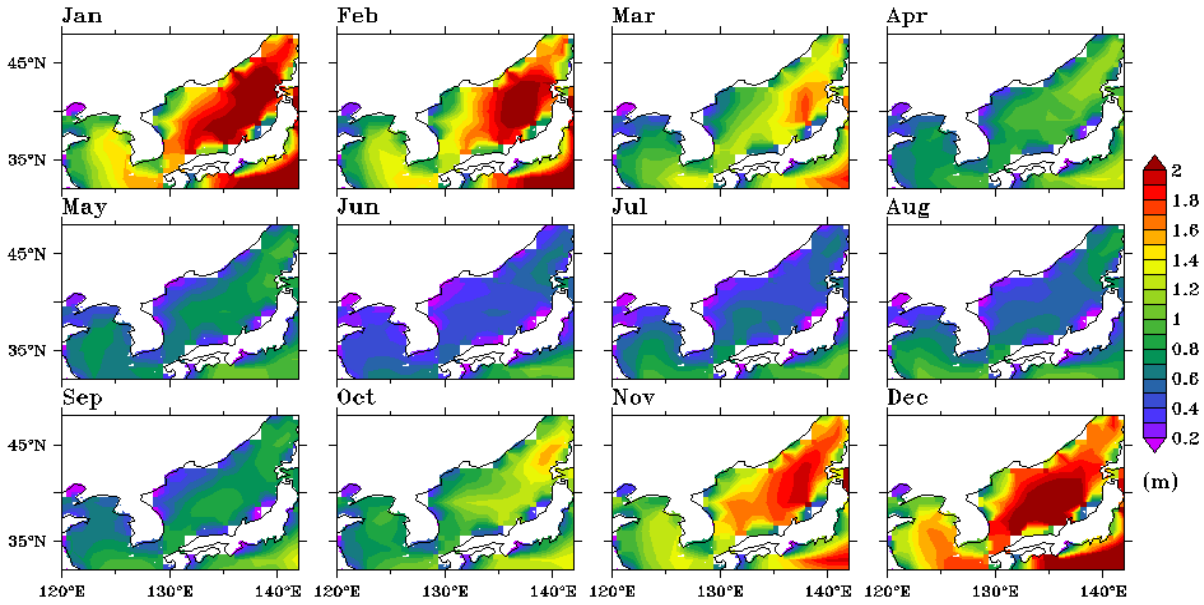


Fig. 3 Significant Wave Height (max)

동해(13.42℃)에 비해 평균 수온은 0.5℃ 내외 높으며 표층 염분은 동해, 남해, 서해 순이었다. 특히 서해는 우리나라와 중국의 주요 하천이 방류하는 많은 담수의 영향으로 비교적 저염인 31.41 psu로 나타났으며 이러한 저염분 상태는 강수의 영향이 크므로 여름철에

는 더 낮아진다(최저 29 psu 내외). 해상풍과 유의파고는 동해와 남해가 비슷하고 서해가 상대적으로 낮는데 이는 여름~가을철 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 진행경로가 대부분 남해를 거쳐 동해로 빠져나가는 것에 기인하는 것이라고 볼 수 있다. 한편 바다 표면

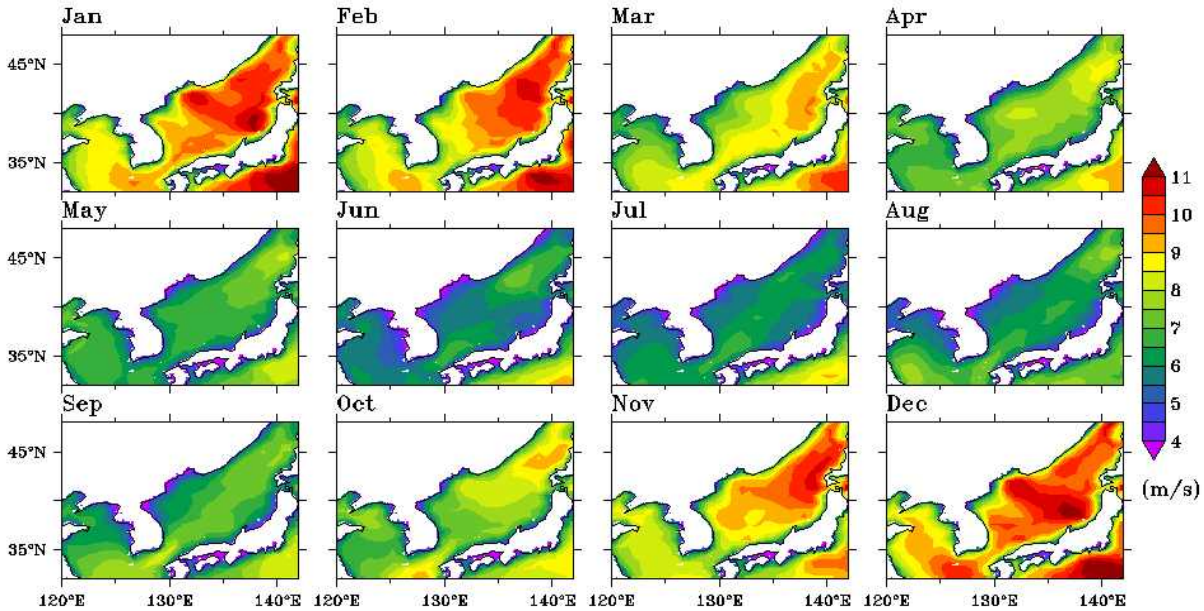


Fig. 4 Wind Speed(max)

위의 대기온도는 남해(16.5℃) > 서해(12.3℃) > 동해(10.6℃) 순이며 극값(최소 ~ 최대 차이)의 경우 동해는 34도, 서해는 32도에 다다른 큰 차이를 보인다. 즉 계절별, 위도별 바다 위 대기온도의 차이가 크다는 것이다. 한편 강수량과 증발량, 해면기압, 상대습도는 유라시아 대륙에 속한 한반도의 중위도 해양성 기후대의 특성을 나타내고 있다. Figure 2는 한반도 근해 염분도 변화의 최대치(max)를 나타낸 것이다. 한반도 기준으로 서해와 동해의 해수염분도(psu : practical salinity unit)는 서해는 약 32 psu, 동해는 34.5 psu를 보이며, 그 차이가 2 ~ 2.5 psu로 큰 차이를 보이고 있다. 태평양의 평균 34.62 psu 이다. psu의 차이는 해수내 실용염분단위로서 전기전도도 특징을 보여주는 것으로 화학적 반응을 위한 물질의 공급량을 나타낸다. Figure 3과 4는 한반도 근해 유의파고와 풍량의 최대치를 나타낸 것으로 겨울철에 동해에서 유의파고 및 풍량이 높다는 것을 알 수 있으며 동해에서 해상작전을 수행하는 무기체계는 해상에서 비산되는 염분에 노출량이 증가함을 알 수 있다.[4]

3. 해양환경이 가스터빈 엔진에 미치는 영향

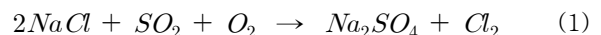
해상에서 작전을 수행하는 해군 무기체계는 항상 염

분에 의한 부식환경에 노출되어 있다. 특히 내연기관의 경우 연료에 함유되어 있는 황성분은 해상에서 유입되는 염분(NaCl)과 결합하여 황산화물을 생성한다. 황산화물은 가스터빈엔진과 같은 내연기관의 부식을 가속화 시켜 운용수명을 단축시키는 문제점으로 부각되고 있다. 이를 고온부식(Hot corrosion)이라고 하며, 가스터빈엔진의 경우 2가지의 열적 구간에서 부식이 급격하게 이뤄지게 된다.[5] 그 외에도 각종 전자장비 등에 영향을 미치나 본 논문은 가스터빈엔진에 대해서만 서술한다.

3. 1. 고온부식(Hot corrosion)

- Type I Hot corrosion(HTHC)

Type I 고온부식은 850℃ ~ 950℃ [5~6]구간에서 발생되며 NaSO₄의 용점(Melting point)은 884℃ 이나 NaCl의 첨가로 용점(Melting point)은 620℃ [6]까지 낮아져 부식방지를 위한 크롬도막을 손상시켜 부식을 급속하게 진행시키게 된다. 즉 염분의 유입의 증가는 황산화물에 의한 부식을 급격하게 증가시키는 촉매 역할을 한다.



- Type II Hot corrosion(LTHC)

Type II 고온부식은 650℃ ~ 850℃ [7 ~ 8]구간에서 발생되며 NaSO₄와 CoSO₄의 혼합물로서 540℃ 융점(Melting point)을 가지게 되며 CoSO₄는 코발트 기반 합금과 연소가스에 나오는 SO₃와 반응하는 부식 생성물이다. Type I 과 달리 급격한 부식은 발생되지 않지만 염분에 의해 국부적인 부식을 발생시킬 수 있다.

3. 2. 해상 작전 무기체계의 염분 유입 환경

해상에서 작전을 수행하는 해군무기체계는 낮은 고도에서 비행하는 헬기 및 대잠비행기와 높은 파도에서 임무를 수행하는 함정의 대부분은 해상에서 쉽게 다량의 염분을 비산되는 형태로 유입한다. Figure 5는 해상인명 구명훈련을 위해 해상에 착륙한 치누크 헬기이다. Figure 6은 해상에서 작전을 수행하는 헬리콥터로서 하강기류에 의한 와류로 해상의 염분이 비산되어 헬리콥터로 유입되는 것을 보여준다. Figure 7은 해상에서 고속으로 기동중인 호위함(가스터빈엔진 운용)이 기동 중 해수가 함정으로 유입되는 것을 나타낸다. 특히 함정의 배수통수가 작은 함정은 내과성이 적어 함정으로 유입되는 해수가 많으며 이로 인해 기관실 엔진흡입구(디미스터)로 흡입되는 염분량이 증가하게 된다.

또한 한반도 주변 해역은 해수온도의 증가와 동시 파랑의 세기가 강해지고 있다. 파랑에 의해 파고 상승과 해수의 염분이 함내 장비에 유입되는 사례가 증가하여 장비부식을 심화시키고 있다. 예로 함정내 장비로 공기를 유입시키는 디미스터(외기 흡입구)는 기본적인 여과필터를 보유하고 있으나 미스트화된 염분은 완벽하게 걸러내지 못하고 있는 실정이다. Table 2는 함정별 해수면에서부터 디미스터의 높이를 나타낸다.

Table 2 Type of Vessel Demister Hight

함정구분	높이(해수면부터)
DDG	13m
FF/PCC	7m
PKG	3m



Fig. 5 Lading at Sea



Fig. 6 Helicopter in Operation at Sea(Saline inflow)



Fig. 7 Frigate in Operation at Sea(Saline inflow)

3. 3. 해양환경과 가스터빈엔진 부식변화

해군의 해상전력은 이지스(DDG)와 호위함(FF), 초계함(PCC), 고속유도탄함(PKG), 해상초계기(PC-3), 대잠헬기(Lynx), UH-1H, UH-60 등이 대표적으로 있고 이러한 무기체계는 가스터빈엔진을 운용하고 있다. DDG/FF/PCC는 GE사의 LM-2500엔진이며, PKG 함정에 사용되는 가스터빈엔진은 GE사의 LM-500엔진이다. 함정은 함재기에 비해 해상에서 유입되는 염분

량이 많아 본 논문에서는 함정의 가스터빈엔진의 성능 변화에 대해 기술한다. 함정의 대표적인 가스터빈엔진인 GE사의 LM-2500, LM-500은 정비주기가 100,000 시간으로 CBM (Condition Based Maintenance/상태기준정비)로 권고하고 있다. 하지만 국방예산획득과 CBM 미정착에 의해 정비주기는 LM-2500은 10,000시간, LM-500은 6,000시간(중간창정비), 12,000시간(창정비)의 TBM (Time Based Maintenance) 방법을 선택하여 운용 중에 있다. 최초 함정에 가스터빈엔진을 도입시 항공기용 가스터빈엔진을 도입하다보니 해상의 운용 특성을 인지 할 수 없었다. 장비 도입 후 운용 중에 발생하는 문제점은 염분에 의한 급격한 부식 발생이었다. 염분에 의해 부식되는 문제점을 해결하기 위해 엔진내부 물세척(Wash Down)을 정기적으로 실시하여 부식율을 일부 감소시켰으나 FF/PCC함정의 경우 약 4,000 ~ 5,000시간 운용시 Fig. 8과 같이 터빈블레이드가 산화되어 운용 불가 상태가 되었다. FF/PCC는 디젤엔진과 겸용(CODOG : Combine Operating Diesel Or Gasturbine)으로 사용하다보니 연평균 운전시간이 짧아 전주기 수명(30년)동안의 운용성 평가에 한계가 있었다. 실제 5,000시간 이상 운용하는 함정은 없었다.

이지스함(DDG)의 경우 추진기관을 가스터빈엔진만(COGAG : Combine Operating Gasturbine And Gasturbine) 운용하다보니 창정비 주기(10,000시간)가 6.5년으로 도래되었다. 하지만 정비주기가 도래하여 장비상태 검사를 실시한 결과 가스터빈엔진내 큰 부식은 식별되지 않았고 성능저하가 없었다. CODOG, COGAG Sys' 운전시간에 따른 장비 손상은 상당한 차이를 보이는데 이는 가스터빈엔진의 주요 손상원인인 황산화 물질에 의한 부식이 급격히 줄게 되어 장비수명이 확대되었음을 보여준다.

PKG 함정은 DDG, FF/PCC 함정에 비해 외기흡입구 높이가 낮아 파랑에 의해 함내로 유입되는 염분량이 매우 높다. 또한 LM-500엔진의 경우 압축기 케이싱이 내부식 처리가 되어 있지 않아 Fig. 9와 같이 부식은 급격하게 이뤄지고 있는 실정이다. Figure 2,3,4와 같이 동해의 해양환경은 서해보다 염분, 풍량, 파고 등이 높아 무기체계에 유입되는 염분량이 상대적으로 많아 동해에서 운용중인 가스터빈엔진의 부식이 서해

보다 17%[9] 많이 증가 하였다. 운용상의 결과로 함정에서 사용되는 연료의 황성분과 염분으로 고온부식(Hot Corrosion)이 발생되며, 특히 디미스터(공기흡입구) 높이가 7m 이하로 낮아 질 경우 해상에서 유입되는 염분량이 증가하여 부식이 급격하게 증가됨을 확인하였다.

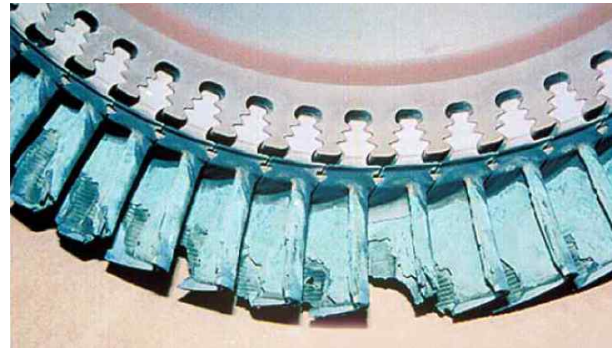


Fig. 8 HPT Blade Hot Corrosion



Fig. 9 Damage & Corrosion of G/T Casing[9]

4. 결 과

한반도의 근해는 다양한 해양변화가 있으며, 작전을

수행하는 해군함정, 함재기, 해상운용 비행기, 공군의 전투기, 해안에 위치한 공항 및 비행장 등이 영향을 받는다. 특히 해양환경에 직접으로 영향을 받는 염분은 가스터빈엔진과 같이 고온/고속으로 운용하는 장비는 사용되는 연료의 황성분과 염분으로 고온부식(Hot Corrosion)이 발생된다. 디미스터(공기흡입구) 높이가 7m 이하일 경우 해상에서 유입되는 염분이 증가하여 부식이 급격하게 증가하였다. 또한 한반도를 기준으로 서해보다 동해에서 작전임무를 수행하는 무기체계는 염분도, 풍량, 파고에 의해 비산되는 염분 등이 상대적으로 높아 부식율이 17% 증가함을 확인하였다. 해상에서 가스터빈엔진을 운용하는 해상무기체계는 염분유입을 최소화하기 위해 외기 흡입구(디미스터)를 해상으로부터 13m이상에서 운용되어야 급격한 고온부식(Hot Corrosion)을 최소화 될 것으로 본다.

후 기

본 논문은 해양연구소의 2016년 국고연구비 지원을 받아 연구되었고, 호원대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었음.

References

- [1] D. Chelton, Time and space scales of ocean variability, Ocean Reference Stations, Fig. 4, 2001.
- [2] D. Ho. Rhee, B.J. Lim, I.K. Ahn, H.C. Koo and J.H. Kim, "Effect of Sand and Dust Ingestion on Small Gas Turbine Engines", *KSME, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-B*, Vol. 36, No. 2, pp.791-796, 2012.
- [3] KOREA HYDROGRAPHIC AND OCEANOGRAPHIC AGENCY, *Korea Maritime Information*. pp. 6-93, 2014.
- [4] G. H. Cho, D. C. Park, "Analysis on the Collecting Amount of Flying Salinity by the Weather Change", *Spring Conference Paper, Architectural Institute of Korea*, Vol.31 No.1(Structure Part), pp.83-84, 2011.
- [5] N. Eliaz, G. Shemesh and R.M. Latanision, "Hot corrosion in gas turbine components", *Engineering Failure Analysis* 9, pp. 31-43, 2002.
- [6] Hancock P. *Vanadic and chloride attack of superalloys. Mater Sci Technol*, 3(7), pp.536-44, 1987.
- [7] Stringer. *High-temperature corrosion of superalloys. Mater Sci Technol*, 3(7), pp.482-93, 1987.
- [8] Wright IG. High-temperature corrosion. In: *Metals handbook*, vol.13. 9th ed. Metals Park: ASM, pp.97-103, 1987.
- [9] DSME Research Paper, "Study on Quantitative Analysis of Impacts on the Marine Environment of Naval Operations", DSME, 2016.
- [10] Nicholls JR. Designing oxidation-resistant coating. *JOM*, 52(1), pp.28-35, 2000.
- [11] K. W. Oh, H. S. Choi, C. D Kong and H. B. Park, "Research on Naval Weapons Systems MRO by analyzing Aerospace MRO Industry", *SASE*, Vol.8, No.2, pp.13-20, June, 2014.
- [12] K. W. Oh, "Development of Korean Condition Based Maintenance Systems to Monitor Naval Weapon Systems", *SASE*, Vol.10, No.4, pp.67-74, 2016.