



Received: 2024/11/18
Revised: 2024/11/29
Accepted: 2024/12/24
Published: 2024/12/31

***Corresponding Author:**

Yun-Hyung Lee
Tel : +82-51-620-5823
E-mail: domse54@daum.net

유무인 복합체계 기반의 함정 Hull Care 발전방향: 수면하 외판 중심으로

Development of Hull Care for Warships Based on a Manned-Unmanned Hybrid System: Focusing on the Underwater Hull Plate

이찬하¹, 신승민², 오경원³, 신일식⁴, 이윤형^{5*}

¹목포해양대학교 해양산업융합학과 공학박사
²부산대학교 선박해양플랜트기술연구원 객원교수
³호원대학교 항공정비공학과 교수
⁴중소조선연구원 민군협력센터 센터장
⁵한국해양수산연수원 교수

Chanha Lee¹, Yun-Hyung Lee^{2*}, Sengmin Shin³, Kyungwon Oh⁴, Shin Ilsik⁵

¹Ph.D, Dept. of Maritime Industry Convergence, Mokpo National Maritime University
²Visiting professor, Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Pusan University
³Professor, Dept. of Aircraft MRO Engineering, Howon University
⁴Center manager, Civil-military Support Center, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding
⁵Professor, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology

1. 서론

선체(hull)는 선박의 수명과 안전성, 성능을 결정짓는 핵심 요소로 용골, 늑골, 외판, 갑판 등으로 구성된다. 선박의 운용 목적에 따라 선형 및 선저 구조물의 설계가 달라지며, 선체 관리 방식에도 차이가 발생한다.

일반상선은 경제성과 안전성, 해양환경 규제를 증시하기 때문에 물의 저항 최소화, 그리고 화물 운송의 효율성 극대화를 위해 설계된다. 또한 운항 중 선체 청소(hull cleaning)에 집중한다. 반면 함정은 기동성 등 작전요구성능을 최우선시하므로, 수명과 성능의 보장이 매우 중요하다. 따라서 상가 중 유지보수정비(MRO, maintenance, repair and overhaul)에 무게를 둔다.

최근 해군 함정은 국제정세 변화와 4차산업 기술 발전과 함께 대형화, 활동 영역의 확대, 다영역 통합 전투, 첨단 무기체계의 보편

Abstract

본 연구는 유·무인 기술의 통합을 통해 해군 함정 선체 관리 시스템의 발전 방향을 제안한다. 선체 구조 특성과 관리 실태를 분석하여 주요 개선 과제를 도출하고, 이를 바탕으로 함형별 통합 정비 개념을 제안하였다. 또한, 정비요원의 부담 경감을 위한 협동로봇 활용과 수중 청소 잔해물 수거 시스템을 통해 효율성과 환경 지속 가능성을 강화하는 방안을 제시하였다. 본 연구는 복잡한 해양 환경에서 해군 자산의 수명과 준비 상태를 보장하는 데 기여할 것으로 기대된다.

This study proposes a development framework for naval warship hull care, integrating unmanned and manned technologies. By analyzing hull structures and current practices, key improvement areas are identified, leading to a unified maintenance framework tailored to warship types. The study further suggests collaborative robotics to reduce maintenance workloads and debris collection systems to enhance environmental sustainability. This research aims to advance hull care practices, ensuring the longevity and readiness of naval assets in complex maritime environments.

Keywords

해군함정(Naval Warships), 선체 통합관리(Integrated Hull Care), 유·무인 복합기술(Manned-unmanned Integration), 협동로봇(Collaborative Robotics)

Acknowledgement

본 연구는 2021 민군협력개발사업 "IoT 기반 함정 정비 통합관제 플랫폼 개발"에 의해 수행되었음 (21-CM-TN-12).

화, 해양 유·무인복합체계를 통한 임무 수행 등으로 진화하고 있다. 한편 국제적으로는 해양환경 보존을 위한 요구가 증가하고 있으며, 국제해사기구(IMO)는 해양환경 규제를 강화하여 이를 반영하고 있다[1-3]. 또한, 인구 절벽, 3D 업종 기피, 재난 예방 및 피해 최소화 요구 등과 같이 사회적 환경도 변화하고 있다.

이러한 국내·외의 사회적 환경 변화에 따라 함정에 대한 철저한 유지관리와 최적화된 정비 환경의 구축이 필요하다. 이와 관련하여 디지털 정비 생태계 조성을 위한 정비 통합 관제 플랫폼 개발, 로봇 기반 유무인 복합 정비 체계 개발[4,5], 함정의 수명 보장을 위한 선체 외판의 정비시기 예측[6], 선체 부착생물의 검사 및 제거 방법[7,8] 등과 같은 다양한 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 해군 함정에 대한 선체 통합관리(hull care)를 위한 효율적이고 친환경적인 방안을 정립하고, 합리적인 발전 방향을 제안하고자 한다. 이를 위해 우선 실사를 통해 함정의 선체 형상 및 선저 구조물의 특성을 살펴본다. 다음으로 상가 정비와 수중 선체 청소 작업의 운용 실태를 확인하고, 선체 관리 방식의 특성을 고찰한다. 이 과정을 통해 함정 선체에 대한 통합관리 방안을 제안하여 해군 함정의 선체 관리 정책에 기여하고자 한다.

2. 선박의 선체관리

선체 통합관리의 개념은 선박의 성능 유지, 수명 연장 및 비용 절감을 위해 선체를 장기적으로 보호하고 부식을 방지하며 내구성과 안전성을 유지하는 것으로 정의할 수 있다. 선체 관리 방식은 선박에 따라 다소 차이가 있으나 선박의 효율적 운영을 위해 서로 융합되고, 포괄적인 관리 방식으로 변화하고 있다.

2.1. 상선과 함정의 선체 특성

선체는 배의 주요 부분 및 상부 구조물의 총칭으로 선박의 수명과 성능에 중요한 역할을 한다. 인체 골격과 유사하게 용골과 늑골로 구성되어 선체의 힘을 분산하고 선체를 지지하는 역할을 수행한다. 늑골의 외부에는 외판이 부착되고, 상부에는 갑판이 설치되어 완전한 구조를 형성한다. 이러한 구조적 특성은 선박의 성능, 안정성, 연료 효율성, 기동성 등에 직간

접적인 영향을 미친다.

상선과 함정은 각각 상업적 목적과 군사적 목적의 서로 다른 요구를 충족하도록 최적화하여 설계된다. 즉, 상선은 경제성과 화물 운송의 안정성을 우선시하며, 함정은 해상전투 시 기동성과 작전 성능을 최우선으로 고려하게 된다. Table 1은 상선과 해군함정의 선체 설계 특성을 정리한 것이다. 이러한 구조적 최적화는 각각의 운용 목적과 환경에 적합할 뿐만 아니라 임무 성공 여부에도 큰 영향을 미친다.

Table 1. Structural characteristics of the hulls of merchant ships and warships

Category	Merchant ships	Warships
Line shape	Streamline	Stealth-oriented streamline
Beam width	Wide	Narrow
Bottom	Flat	Sharp V shape
Hull sides	Vertical	Sloped
Underwater fittings	Small and simple	Many and complex
Propulsion shaft	Less visible	Highly visible

상선은 물의 저항을 줄여 연료소비량을 최소화하고 화물 적재 효율성을 극대화하는 데 초점을 맞추며, 넓고 평평한 선저면과 수직형 측면을 통해 안정성과 화물 적재 용량을 극대화한다. 반면, 함정은 기동성과 스텔스 성능을 최우선으로 고려하여 상대적으로 좁고 경사진 측면 설계를 채택함으로써 민첩성과 생존성을 강화한다.

선저 구조물 또한 상선과 함정 간의 주요 차이점 중 하나이다. 상선은 화물 적재 공간 중심의 단순한 구조이나 함정은 군사 작전에 필요한 다양한 장비와 시스템을 수용하기 위해 상대적으로 더 복잡하게 설계된다. 더불어 추진축 설계에서도 상선과 함정은 뚜렷한 차이를 보인다. 상선은 추진축의 외부 노출을 최소화하여 안정성과 내구성을 확보하는 데 중점을 둔다. 이를 통해 외부 노출로 인한 부식, 손상, 해양 생물 부착 등의 문제를 방지하고 유지보수 비용을 절감할 수 있다. 반면, 함정은 기동성과 신속한 대응을 위해 추진축의 외부 노출이 많으며, 이러한 설계는 추진 효율성과 기동성을 극대화하는 데 기여한다.

2.2 상선의 선체 관리

상선은 연료소비량 최소화와 해양환경 보존을 위하여 수면하 선체에 대한 수중 청소(in-water hull cleaning)에 주로 초점을 맞춘 관리 방식을 적용한다. 수중 선체 청소는 선체 표면의 청결을 유지하기 위해 오염물과 이물질 제거하는 것으로, 이 과정에서 선저 구조물의 이상 유무를 확인하는 검사도 진행된다.

모든 선박은 시간이 지남에 따라 선체 표면, 사이드 스텐더, 해수흡입구, 빌지킵, 추진축, 선미관, 방향타 등 틈새구역에 선체 부착 생물(biofouling)이 증가하고[8], 선체 외판 및 선저 구조물의 부식과 손상 등이 진행된다.

선체 부착 생물은 수중 선체 청소 후 약 3개월이 지나면 점액(slime), 해초(marine grass), 따개비(barnacle), 홍합(mussel) 등이 나타나기 시작하며, 6개월 후에는 더욱 무성해지고, 12개월 후에는 수면하 선체 전반에 심각한 영향을 미친다[9](Fig. 1 참조). 계류나 정박 등 항해하지 않는 기간이 길수록 이러한 현상이 심화되며 두 가지 주요한 문제가 발생한다.

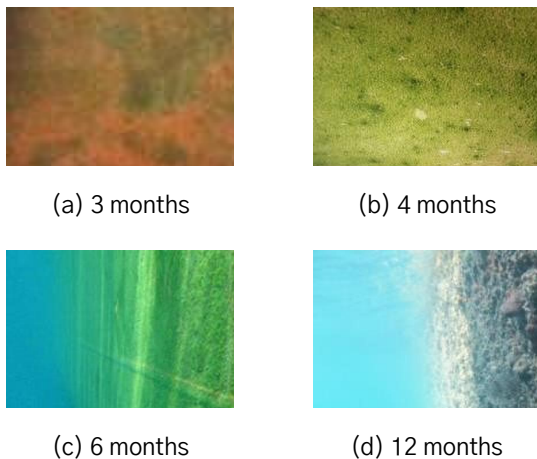


Fig. 1. Process of biofouling formation[9]

첫째, 선체 저항이 증가한다. 이로 인해 선박 속도와 추력이 저하되어 연료소비율을 최대 40%까지 악화시켜 운항 비용을 크게 증가시킨다[10]. 둘째, 부착 생물이 국제적으로 이동하며 해양 생태계를 교란시킨다. 이러한 문제점을 인식하고 국제해사기구는 관련 규제를 강화하고 있다[2,3]. 이에 상선은 정기적인 수중 청소를 통해 선체 오염물과 부착 생물을 제거하

며 청결 상태를 유지하려는 노력을 기울이고 있다.

선체의 부식 및 손상은 선체 강도를 약화시켜 선박의 수명, 성능, 안전성에 큰 영향을 미친다. 이를 해결하기 위해 상선은 국제해상인명안전협약(SOLAS, International Convention for the Safety of Life at Sea)과 선박안전법에 따라 정기검사, 중간검사, 임시검사, 국제협약검사 등을 통해 선체, 기관, 설비를 주기적으로 점검하고, 유지 및 관리한다[11].

2.3 해군 함정의 선체 관리

함정은 상선과는 다르게 성능과 수명 연장을 중시하며 MRO 중심의 상가 정비에 초점을 맞추고 있다. MRO는 선체의 효율적 운용과 수명 연장을 위해 손상된 부분을 복구하고, 선체를 항상 사용 가능한 상태로 유지하는 데 그 목적이 있다.

상선은 앞에서 설명한 바와 같이 정기적인 수중 청소를 통해 선체 오염물과 부착 생물을 제거하고 있으며, 함정도 2019년부터 수중 청소를 정례화하여 시행하고 있다. 또한, 함정도 상선과 같이 선체 강도 약화 문제가 발생한다. 함정은 이를 해결하기 위해 선체 두께 측정, 부식 개소의 청탁 도장, 도막 두께 측정 등 별도의 정비개념을 도입하여 주기적인 상가 정비를 수행한다[12].

해양 생태계 교란 문제도 상선과 동일한 부분이나 그동안 예외적으로 관리되었다. 그러나 해군 함정도 대양해군 건설을 추진하며 해외로의 원양 항해가 지속적으로 증가하고 있어 이제는 이러한 조치에 적극적으로 대응할 필요가 있다.

3. 함정의 선체 관리 고찰

해군은 함정의 수명 및 성능보장을 위하여 대표적으로 상가 정비와 수중 선체 청소 작업을 통해 선체를 유지관리하고 있다.

3.1 상가 정비

상가 정비는 함정의 수면 하부 선체와 구조물에 대한 검사 및 수리를 위하여 건식 도크(dry dock), 부유식 도크(floating dock), 쉼리프트(shiplift) 등 상가 시설에서 수행되는 행위로 정의된다. 일반적으로 정

비능력도 함께 갖추고 있는 정비창에 의뢰하여 작업이 진행된다.

이 작업은 Table 2와 같이 함형별 선체 특성을 고려하여 정해진 주기에 따라 실시하는 정기상가, 수면하 장비에 대한 계획정비(PMS, planned maintenance system)와 선령을 고려하여 선체의 부식 개소 유지보수를 위한 중간상가, 고장정비 등의 긴급 수리를 위한 긴급상가로 구분된다[12].

Table 2. Docking cycles of warships

Regional docking	International docking	Emergency docking
6 years	2-3 years	If necessary

상가 정비는 매우 위험하고 난이도가 높은 작업으로 전문기술과 철저한 안전관리가 필수적이다.

작업 시작 전에는 유류, 탄약, 청수 및 일시적 제한 중량물의 하역과 함께 함정의 중경사 및 횡경사를 ‘zero’로 조정하는 등의 안전조치를 시행해야 한다. 상가 기간 중에는 Fig. 2와 같이 수면하 외판(해수흡입구 포함) 및 구조물에서 조패류와 이물질(페로프, 페어망 등)을 제거한다. 또한, 청락 작업을 수행한 후 초음파 두께측정기로 선체의 외판 두께를 측정하여 선체의 부식 정도를 확인한다.

이후에는 선체의 부식방지를 위해 방청도료(AC, anticorrosive paint)를 1차 도장으로 사용하고, 해양생물의 부착이나 성장을 방지하기 위해 방오도료(AF, antifouling paint)를 2차 도장으로 적용한다. 해군에서는 고가이지만 효과가 우수한 박리성 자기마모형(self-polishing copolymer) 방오도료를 주로 사용하고 있다.

이러한 과정은 선체의 수명, 안전성, 성능 유지를 위한 핵심 작업이다. 그러나 작업시간이 길고 다수의 정비요원이 필요하며, 다량의 지저분한 폐기물도 함께 발생한다. 현재까지도 이 모든 작업이 100% 수작업으로 진행되며, 기피업종으로 분류된다. 따라서 이에 대한 보완책으로 Fig. 3와 같이 자동화 로봇을 활용한 선체 표면처리 작업 및 친환경적인 폐기물 수거 작업을 통해 정비요원의 부하를 경감시키는 노력이 필요하다[5].

그 외에도 추진축·추진기(CPP, VSP, side thruster), 방향타, 함 안정기, 소나 등 수면하 장비에 대한 성능 검사와 ICCP 및 MGPS 전극봉, 아연판 교체 등의 작업이 상가 기간 중에 진행된다.

3.2 수중 선체 청소

해군은 2013년부터 함정의 추진기 성능보장을 위하여 출동 대기 중인 함정을 대상으로 잠수사를 활



(a) Hull surface treatment areas



(b) Hull surface blasting



(c) Hazardous waste generation

Fig. 2. Hull surface treatment by engineers



(a) Hull surface treatment areas



(b) Robot-assisted lasting



(c) Eco-friendly waste collection

Fig. 3. Robot concept for hull surface treatment

용하여 추진축 및 추진기에 대한 이물질(페로프, 페어망 등) 및 조패류 제거 및 검사를 시행하는 외주 용역 정비를 시범적으로 실시하였다[13].

이 외주정비의 성과를 기반으로 2019년부터는 수면하 선저면, 선측면까지 정비 범위를 확대하였다. Table 3는 현재 정례화하여 진행되고 있는 수중 선체 청소와 선저 장비 및 구조물 상태 점검을 요약하여 정리한 것이다[14].

Table 3. Status of in-water hull cleaning for warships

Year	Number of targets			Allocated budget (KRW)
	100 m or more	Less than 100 m	Sum	
2020	18	9	27	260 million
2021	18	7	25	280 million
2022			22	250 million
2023			44	570 million
2024	120	39	63	600 million
By June 2025			30	210 million

Fig. 4는 잠수사에 의한 수중 청소 작업을 나타낸 것이다. 이 작업도 상가 정비와 같이 매우 위험하고, 숙련도가 필요하다. 작업에 필요한 제반 안전조치가 이행되어야 하고, 안전관리책임자를 상시 배치하여 위험 상황 발생 시 작업을 즉각 중지해야 한다. 작업 시작 전에는 작업과 연계된 함정의 모든 장비를 작동 금지해야 하고, 잠수 장구 점검, 인명 및 설비 안전 교육, 인접 계류함정 전파 등의 안전조치를 시행해야 한다. 그리고 작업 시 잠수사는 함정의 선저면, 선측면 등 수면하 외판과 소나돔, 사이드 스텐더, 해수 흡입구, 함안정기, 추진축 및 추진기, 방향타, 각종 센서 등 수면하 구조물에 부착된 조패류, 해조류, 페로프 등을 제거하고 청소한다. 이때 수중에서의 안전을 위해 항상 잠수사 2명이 함께 작업해야 한다. 또한, 선체 도장이 훼손되지 않도록 적합한 도구를 사용해야 한다. 그 외 선체 및 구조물, 도장 등의 손상 여부를 검사하여 정비 소요가 발견되면 별도 필요한 후속 조치를 시행한다.

이러한 과정은 함정의 속도 및 성능 유지를 위한 필수 조치이나, 긴 작업시간과 다수의 잠수사, 다량으

로 발생하는 금속 산화물, 유기화합물, 외래 유입 해양 생물 등 잔해물의 수거 미흡으로 해양환경 보존에 악영향을 미치고 있다.

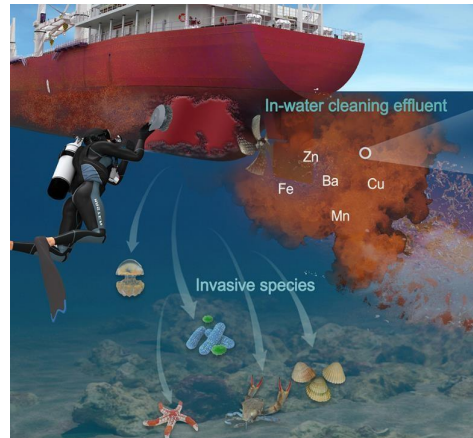


Fig. 4. In-water cleaning by divers[9]

해군은 이러한 어려움을 해소하기 위해 수중 청소 및 검사용 로봇을 도입하였다. 수중 선체 청소 로봇은 2019~2020년 동안 Fig. 5와 같이 구축함(DDH), 기뢰부설함(MLS), 초계함(PCC)을 대상으로 시범 운용을 통한 실효성 검증 후, 2021년에 정비창에 배치되었다[9]. 그러나 현실적으로 잠수사에 의존하는 외주 용역 수중 선체 청소가 지속되고 있고, 상선과는 달리 틈새구역이 많으며, 숙련된 로봇 운용 인력의 부족 등으로 로봇 활용이 활성화되지 못하고 있다.

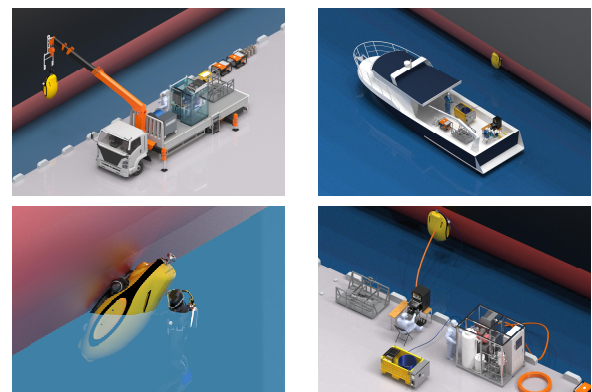


Fig. 5. Operational concept of hull cleaning robots[9]

Fig. 6는 정비창에 도입된 수중 선체 검사 로봇의 운용 개념을 나타낸 것이다. 현재까지 선저 구조물의 이상 유무 확인, 선체 두께 측정 등에 원활히 활용 중인 것으로 추정된다. 그러나 배터리 등의 수리용 부

품 확보에 다소 애로가 예상되고 있어 개선 및 보완이 필요해 보인다[15].

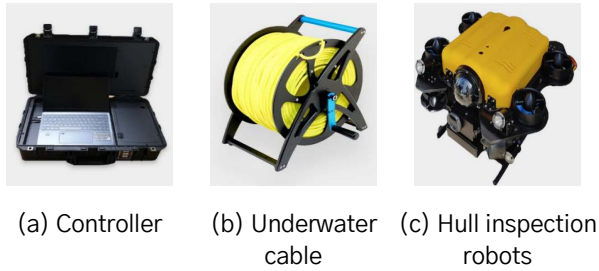


Fig. 6. Operational concept of hull inspection robots

4. 유·무인 복합체계 기반의 함정 선체 관리

본 장에서는 해군 함정의 선체 관리 실태를 분석하고, 이를 바탕으로 유·무인 복합체계 기반의 선체 통합관리 방안을 제안하고자 한다.

4.1 현행 선체 관리의 시사점

3장에서 살펴본 함정의 선체 관리 실태를 분석했을 때 시사점은 다음과 같다.

첫째, 해군의 상가 정비는 선체 특성, 선령, 선체 부식 및 도장상태, 수면하 장비의 계획정비 및 고장 수리를 고려한 정비개념이 잘 정립되어 수행된다. 반면 수중 선체 청소 및 검사는 대상 함정과 시행주기 등의 개념이 명확히 규정화되어 있지 않아 효율성과 강제성이 다소 부족한 상태에서 관례적으로 수행된다.

둘째, 상가 정비 및 수중 청소 작업의 위험성, 난이도, 긴 작업시간, 다수의 정비 인력소요, 다량의 잔해물 발생 등의 비효율적 요소가 존재한다.

셋째, 상가 시 로봇을 활용한 선체 표면처리 및 도장작업의 자동화 미적용, 수중 선체 청소 로봇의 사용 실적 저조 등 정비요원을 보조해 줄 수 있는 협동로봇의 활용이 미흡하다.

넷째, 수중 청소 작업 시 발생한 다량의 잔해물이 정제되지 않고 해양으로 유출되고 있어 해양 생태계에 부정적인 영향을 미치고 있다.

4.2 선체 통합관리 방안의 발전 방향

이와 같은 시사점과 어려움을 고려하여 함정의 수

명 및 성능보장을 위한 통합적인 선체 관리 방안이 필요하다. 따라서 최종적으로 본 연구에서는 유·무인 복합체계 기반의 효율적인 선체 통합관리 방안을 제안하고자 한다.

첫째, 수중 선체 청소 및 검사에 대한 대상 함정과 시행주기를 상가 주기와 같이 함형별로 규정해야 한다. Table 4는 이를 바탕으로 해군의 수중 선체 청소 및 검사 대상 함정 척수를 추정한 것이다. 배정 예산, 함정의 대형화 등을 고려할 때 수중 청소 소요는 지속해서 증가할 것으로 예상된다. 더불어 상가 정비와 수중 청소로 구분되어 시행하던 정비항목 및 시행시기를 Table 5의 예시와 같이 함형별로 통합하는 선체 정비개념을 제안한다.

Table 4. Classification by warship size (draft)

Group	Length over all (m)	Warship type	Estimated number
A	More than 150	DDG, LPH, AOE, etc.	○
B	100 - 150	DDH, FFG, LST, MLS, ASR, ATS, ATH, AGS	○○
C	50 - 100	PCC, PKG, MHC, MSH	○○
D	Less than 50	PKMR, etc.	○○

Table 5. Proposal of hull care items and intervals (draft)

Items	Intervals	Applicable warship type
Hull plate & underwater appendages inspection	3 months	DDG, etc.
Consumables & various sensors inspection	3 months	LPH, etc.
Biofouling inspection	6 months	FFG, etc.
Hull coating film thickness measurement	6 months	LST, etc.
Biofouling cleaning	1 year	MHC, etc.
Hull plate corrosion inspection	1 year	AOE, etc.
Consumable replacement (Zinc anodes, sensors, etc.)	During docking	FFG, etc.
Hull plate corrosion repair	During docking	PKMR, etc.
Hull plate thickness measurement and anti-corrosion coating	During docking	LPH, etc.

둘째, 협동로봇의 운용 활성화가 필요하다. 이를 위해 우선 상가 정비 시 활용할 선체 표면처리 및 도장작업용 로봇 도입이 시급하다. 그리고 수중 선체 청소 소요에 대해 함형별 규모(전장), 선형 등의 특성을 고려하여 로봇과 잠수사가 수행해야 할 대상 함정 및 구역을 구분할 필요가 있다. 즉, 수중 청소 로봇은 대형함 중심으로 활용하고, 소형함 및 비철 함정, 틈새구역에 한해 잠수사를 활용함으로써 업무를 효율화해야 한다. 이를 통해 정비요원의 부하를 경감시킬 필요가 있다.

셋째, 수중 청소 및 검사 로봇의 원활한 운용을 위하여 Table 6의 사례와 같이 수중무인기 전문기관의 교육과정을 이수한 숙련된 유자격 인력의 확보가 필요하다[16,17].

Table 6. Naval professional development training program of Maritime Unmanned Technical & Education Center

Day	Category	Detailed programs
1		Relevant regulations, marine environment
2	Theory	Technological trends, operation, management
3		Maintenance, safety, emergency response
4	Practical training	Operation, maintenance, emergency response
5	Evaluation	Practical evaluation

마지막으로, 수중 작업에서 발생하는 금속 산화물, 유기화합물, 외래 유입 해양 생물 등을 수거하여 크기가 큰 잔존물을 분리하여 육상으로 배출하고, 오폐수는 자동 정화하여 해양으로 배출할 수 있는 정화시스템 도입이 필요하다.

5. 결론

본 연구는 해군 함정의 수면하 선체 및 선저 구조물에 대한 효율적이고 친환경적인 선체 통합관리 방안을 재정립하고, 합리적인 발전 방향을 제시하였다. 먼저, 함정의 수면하 선체와 선저 구조물의 특성을 살

펴보고, 상가 및 수중 작업의 운용 실태를 분석하여 선체 통합관리 관점에서의 함형별 선체 정비개념 재정립을 제안하였다.

또한, 정비요원의 부하 경감을 위해 협동로봇 운용 활성화 방안을 제시하였으며, 상가 시 선체 표면 처리 및 도장 작업을 위한 로봇 도입과 수중 청소 로봇의 운용 활성화 방안을 도출하였다.

마지막으로, 해양환경 보존을 위한 수중 청소 잔해물 수거 및 정화 시스템 도입을 제안하였다. 이러한 방안은 해군 함정의 운영 효율성을 향상시키고, 해양 환경 보호에도 기여할 수 있는 중요한 방법론이 될 것이다.

그러나 선체 통합관리 관점에서의 함형별 정비개념을 재정립하는 과정에서 과거의 실제 운용 데이터를 충분히 반영하지 못한 점은 본 연구의 한계로 남아 있다. 향후, 이러한 부분을 보완하여 선체 청소 실시 여부 대비 함정 속도와의 상관관계 분석 등을 통해 선체 통합관리 관점에서의 정비개념을 보다 최적화하고 협동 로봇 운용을 활성화하기 위한 지속적인 노력이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] H. Y. Bae, "A Study on the Operational Concept of K-Ghost Fleet and Force Development," Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies, 29.2, 2022 pp.73-88.
 [2] IMO MEPC.378(80), "2023 Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species," 2023.
 [3] GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships Project. 2019
 [4] S. M. Shin, K. W. Oh, C. H. Lee, & I. S. Shin., "IoT 기반 정비 통합관리 플랫폼 개발 방향 : 해군 정비창 사례 중심으로," Journal of the KNST, Vol. 5, No. 2, 2022, pp. 143-149.
 [5] 중소기업연구원, "로봇 기반 유·무인 복합 정비지원체계 개발 공동기획연구 최종보고서," 2024.
 [6] N. K. Won, "Prediction of Maintenance Period for Naval Vessels' Hull Plates Using Multiple Linear Regression Model," A Master's Thesis, Graduate School of Changwon National University, 2022.
 [7] Y. K. Cho, J. H. Yang., "A Study on Assessment of In-water Cleaning System," 한국해양환경·에너지학회 학술대회논문집, 2023. 5. p 95
 [8] J. K. Park, C. H. Hoe, H. P. Kim, & Y. K. Cho., "Study on the Biofouling Management of International Ships Entering South Korea," Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 28, No. 1, 2022, pp. 10-18.

- [9] (주)SLM, <http://www.slm-global.co.kr>
- [10] Schultz, M. P., Bendick, J. A., Holm, E. R., & Hertel, W. M. "Economic Impact of Biofouling on a Naval Surface Ship Biofouling", 27(1), 2011. pp.87-98.
- [11] IMO, "International Convention for the Safety of Life at Sea 1974," Chapter I: General Provisions Part B – Surveys and Certificates.
- [12] 국방홍보원, "[안승희 기자의 군금해] 거대한 해군 함정 어떻게 육상에 올렸을까?" <https://www.youtube.com/watch?v=-tU8KPCkhy4>
- [13] 해군군수사령부, 2013SCF15275 함정 추진기 조패류 수중소제 용역, 2013.
- [14] 해군군수사령부, 2019SCF19582 함정 수면하 선체 조패류 수중제거 용역, 2019.
- [15] (주)로보스텍, <http://www.rovostech.com>
- [16] 군인사법 시행규칙 제83조의3 12항 수중무인기조작사
- [17] 해양무인기술교육센터, <https://www.kmou.ac.kr/mutec/cm/cntnts/cntntsView.do?mi=5555&cntntsId=7323>