

국내 산업잠수의 교육 및 자격관리 제도의 구조적 한계

김명훈 · 홍성훈* · 정세홍** · 김성길*** · 이우동†

경상국립대학교(연구원) · *한국수중환경안전협회(회장) ·

PDIC-SEI 아시아센터(강사트레이너) · *서울YMCA안전교육원(원장) · †경상국립대학교(교수)

Structural Limitations in the Education and Certification System for Commercial Diving in Korea

Myounghoon KIM · Seonghoon HONG* · Sehong JEONG** · Sunggil KIM*** · Woo-Dong LEE†

Gyeongsang National University(researcher) · *Korea Underwater Environment Association(president) ·

PDIC-SEI Asia Center(instructor trainer) · *Seoul YMCA Safety Education Center(director) ·

†Gyeongsang National University(professor)

Abstract

This study evaluates whether the current Korean education and certification system for commercial divers adequately reflects the inherently high-risk nature of commercial diving operations by systematically comparing it with internationally recognized frameworks. The analysis reveals that the domestic certification system is predominantly administrative, characterized by permanent certification, limited role differentiation, and the absence of post-certification competence management. These structural features limit the system's capacity to function as an effective safety control mechanism in dynamic, hazardous underwater working environments. In contrast, major international certification frameworks are grounded in competence-based management principles. Under these systems, diver qualification is not treated as a static credential but as an indicator of current operational readiness, continuously verified through role-specific certification pathways, logbook-based validation of practical experience, periodic medical assessments, and certification renewal or equivalent continuing-competence requirements. The findings indicate that the Korean commercial diving certification system remains structurally misaligned with the evolving risk profiles and operational demands of commercial diving. By highlighting the limitations of permanent, examination-centered certification schemes, this study provides an analytical basis for reassessing the functional role of diver certification as a dynamic safety assurance mechanism, informed by international best practices.

Key words : Commercial diving, High-risk diving operations, Diver certification system, Occupational diving safety, Professional diver training

I. 서론

산업잠수는 해양 산업의 목적 달성을 위해 고

압의 수중 환경에서 전문 잠수 장비와 관련 설비를 운용하여 수행되는 일련의 작업을 통칭하는 개념이다. 이는 「산업안전보건기준에 관한 규

† Corresponding author : 055-772-9126, wdlee@gnu.ac.kr

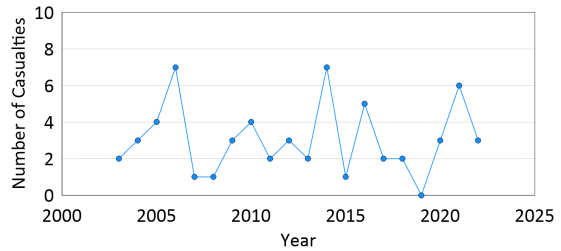
*이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00356327).

칙」 제522조에서 규정하는 “수중에서 호흡용 기체를 공급받아 수행하는 작업”이라는 법적 정의의 잠수 작업과, 국가직무능력표준(National Competency Standards, NCS)에서 제시한 “스쿠버 또는 표면공급식 잠수장비를 이용한 구조·인양, 수중 용접, 구조물 설치 및 해체 등”의 직무 기준을 포괄적으로 반영한 용어로 사용된다.

현재 대한민국의 해양 산업 현장에서는 해양 구조물의 유지·보수, 수중 용접 및 절단, 해난구조, 선체 점검, 어업 등 다양한 분야에서 산업잠수가 수행되고 있다. 이러한 작업은 고압과 수중이라는 환경적 특수성으로 인해 잠재적 위험 요소가 상존하므로, 작업 전·중·후 전 과정에 걸친 체계적인 위험관리와 엄격한 안전 절차의 준수가 필수적으로 요구된다.

실제로 국내 산업잠수 현장에서는 크고 작은 사고가 지속적으로 발생하고 있다. 최근 사례로는 2025년 7월 20일 경상남도 창원시 진해만 해역에서 컨테이너선 선체 하부 클리닝 작업을 수행하던 잠수사 3명 중 2명이 사망하고 1명이 중상을 입은 중대재해가 발생하였다. 해당 사고는 일산화탄소 중독이 직접적인 사인으로 확인되었으며, 추가 조사 결과 감시인 미배치, 비상 기체 미착용, 통신 장비 미착용 등 기본적인 안전관리 요소가 전반적으로 미흡하였던 것으로 보고되었다(Choi, 2025). 이는 「고기압 작업에 관한 기준」(Ministry of Employment and Labor, 2020a)과 「산업안전보건기준에 관한 규칙」(Ministry of Employment and Labor, 2020b)과 같은 법령과 안전 기준이 존재함에도 불구하고, 산업잠수 현장에서 기본적인 안전관리 요소가 실제 작업 절차로 충분히 이행되지 않을 경우 중대재해로 이어질 수 있음을 보여주는 사례이다.

이와 같은 사고는 단일 사례에 국한되지 않는다. [Fig. 1]에 나타난 바와 같이, 한국산업안전보건공단 통계에 따르면 2003년부터 2022년 4월까지 산업잠수 관련 사고는 총 61건 발생하였고, 이로 인한 사상자는 사망 61명과 부상 2명을 포



[Fig. 1] Casualties from commercial diving accidents in Korea between 2003 and April 2022, based on KOSHA statistics.

함하여 총 63명으로 집계되었다(Kang, 2022).

이는 연평균 약 3.1건의 사망자가 발생한 것으로, 산업잠수가 국내 해양 산업 전반에서 상대적으로 높은 위험 수준을 갖는 작업임을 시사한다. 이와 같이 국내 산업잠수 사망사고를 분석한 선행연구에서는 반복되는 사고의 주요 기여요인으로 단독잠수, 음성통신 부재, 부적절한 장비관리, 무자격 잠수사 또는 비전문 보조인력의 참여, 잠수 감독 및 비상 대응 체계 미흡 등이 지적되었다(Park and Yoon, 2020; Park et al., 2025). 이러한 선행연구와 제도적 논의를 종합하면 산업잠수 사고의 원인을 단순히 현장 관리 미흡의 문제로만 한정할 것이 아니라, 잠수사를 양성하고 관리하는 교육 및 자격관리 제도 전반에 대한 구조적 검토가 필요함을 강하게 시사한다. 즉, 사고 발생 빈도가 장기간에 걸쳐 일정 수준 이상으로 유지되고 있다는 점은, 개별 작업 환경이나 일시적 관리 소홀뿐만 아니라 잠수 인력의 양성·운용·검증을 포괄하는 제도적 관리 체계 전반에 대한 검토 필요성을 시사한다.

국외의 경우 국제 해양 산업계를 주도하는 국제해양공사협회(International Marine Contractors Association, IMCA), 국제잠수공사협회(Association of Diving Contractors International, ADICI), 호주잠수사인증제도(Australian Diver Accreditation Scheme, ADAS) 등은 산업잠수 사고 분석과 정량적 위험 평가 결과를 기반으로, 체계적인 교육 커리큘럼과 주기적인 역량 평가 및 자격 갱신 제도를 표

준화하여 운영하고 있다. 이러한 제도는 단순한 자격관리 차원을 넘어, 잠수사의 비상 대응 능력과 위험 인식 수준을 지속적으로 유지·검증하는 핵심적인 안전관리 장치로 기능한다. 나아가 산업잠수 분야에서 축적된 사고 분석 결과와 위험 평가를 반영하여 설계된 제도로서, 예방 중심의 안전관리 수단으로 활용되고 있다(International Marine Contractors Association, 2014; Association of Diving Contractors International, 2011; Australian Diver Accreditation Scheme, 2024).

이와 같은 국제 기준과 제도는 국외 산업잠수 분야에서 수행된 다양한 사고 분석 연구를 토대로 구축되었다. 미국(1990-1997), 영국(2010), 프랑스(1991-2022)의 산업잠수 사망사고 데이터를 활용하여 직무 위험도를 정량적으로 분석하고(Woods, 2022), 이를 통해 위험 관리 체계의 개선 필요성을 제시하였다. 또한, 1965년부터 2019년까지 호주에서 발생한 잠수 사망사고를 분석하여, 교육 체계와 안전 규정 강화의 중요성을 강조하였다(Lippmann, 2021). 이러한 연구 결과는 국제 기준이 경험적·통계적 근거에 기반한 예방 중심의 제도임을 뒷받침한다.

국내에서도 잠수사의 안전 확보와 수중 작업 효율성 향상을 위한 연구가 지속적으로 수행되어 왔으며, 이는 잠수사의 교육·훈련 및 자격관리 체계의 중요성을 뒷받침한다. 국내 수중 작업 환경에서 운용되는 잠수 시스템의 안전성 확보를 위해 체계적인 표준 및 안전 기준 제정의 필요성을 제안하였으며, 잠수 시스템의 표준 및 안전 기준을 정리하고 국제적으로 통용되는 규격을 검토함으로써 국내 기준 정립의 필요성을 제안하였다(Park and Kang, 2011). 이러한 정책적·제도적 논의와 더불어, 잠수 안전성 향상을 목적으로 잠수모의 기반 공기 잠수(Lee et al., 2019)와 나이트록스 잠수의 운용 특성을 비교·분석한 연구도 수행되었다(Lee, 2020). Lee et al.(2025c)은 수심 증가에 따라 잠수 작업의 효율 저하와 이에 따른 소요 인력의 증가를 정량적으로 제시하였다.

또한, 세월호 침몰 해역을 대상으로 한 예측 조류 분석을 바탕으로(Kim et al., 2023) 자급식 호흡장치(Self-Contained Underwater Breathing Apparatus, SCUBA) 및 표면공급식 잠수장비(Surface Supplied Diving System, SSDS)를 적용한 일별 잠수 계획과 인력 운용 절차가 제안되었다(Kim et al., 2025b; Lee et al., 2025a; 2025b). 나아가 조류 주기에 따른 잠수 계획 및 운영·관리 방안을 제시함으로써, 일별 잠수 운용의 현실적 제약을 반영한 현장 적용 가능성을 제고하였다(Kim et al., 2025a). 한편, 수중 수색 및 구조 작업에서 원격 무인잠수정(Remotely Operated Vehicle, ROV)의 활용을 중심으로 한 운용 전략이 제안되었으며(Kim et al., 2025c), 나아가 세월호 참사 현장의 환경적·운용적 조건을 고려하여 ROV-SCUBA 연계 운용의 적용 가능성을 검토한 연구도 수행되었다(Kim et al., 2025d).

이와 같은 선행연구들은 잠수 운용 절차와 현장 적용 측면에서의 안전성 향상에 일정 부분 기여해 왔다. 그러나 잠수사의 자격관리 제도를 재해 예방과 안전관리의 핵심 수단으로 인식하고, 이를 제도적·구조적 관점에서 체계적으로 분석한 연구는 여전히 제한적인 실정이다.

본 연구는 국내 산업잠수 교육 및 자격관리 제도를 국제 기준과 비교·분석하여 현행 제도의 구조적 특성과 한계를 규명하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 교육 과정 및 운영 기관, 자격 부여 기준, 직무별 역할, 자격 갱신 체계를 중심으로 주요 차이를 도출하고, 이러한 차이가 고위험 수중 작업 환경에서의 중대재해 발생과 어떠한 연관성을 갖는지를 분석하고자 하였다. 이를 바탕으로 국내 산업잠수 자격관리 제도의 현황을 객관적으로 진단하고, 글로벌 해양 산업 환경에서 요구되는 전문 인력 양성과 안전관리 체계의 정합성을 검토하기 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다. 아울러 본 연구는 산업잠수 분야의 중대 재해 예방을 위한 제도적 기반 마련에도 기여할 것으로 기대된다.

II. 연구 방법

1. 분석 대상 설정을 위한 산업잠수의 개념 정의

국내의 경우 산업잠수의 정의는 안전 보건과 직무 표준의 관점에서 다소 상이하게 기술된다. 한국산업안전보건공단은 잠수 작업을 “물속에서 공기압축기나 호흡용 공기통을 이용하여 수행하는 작업”으로 정의하며(Korea Occupational Safety and Health Agency, 2021), 호흡 매체의 공급 방식과 수중 환경이라는 작업 조건에 초점을 두고 있다. 반면, NCS는 이를 보다 구체화하여 “대기압 이상의 고압 환경에서 스쿠버 및 표면공급식 잠수장비를 사용하여 구조·인양, 용접, 구조물 설치·해체, 수중 촬영, 발파, 기압조절실 운용 등의 과업을 수행하는 직무”로 규정하고 있으며, 일부 항목에서는 레포트 잠수 지도 영역까지 포함하고 있다(National Competency Standards, 2015).

국외의 경우에는 산업잠수의 정의에서 전문성과 산업적 목적이 보다 명확하게 강조된다. ADCI는 잠수 작업을 “업무 수행을 위해 계획된 고압 환경에 사람이 노출되는 것을 포함하는 모든 종류의 수중 작업”으로 정의하며, 산업잠수사를 공식적인 훈련과 현장 경험을 통해 역량이 검증된 자격 보유자로 한정하고 있다(Association of Diving Contractors International, 2011). 또한, IMCA는 그 범위를 더욱 좁혀 “석유·가스 또는 재생·대체 에너지 산업을 지원하기 위해 수행되는 해양잠수”로 정의함으로써, 산업적 가치 창출을 핵심 요건으로 설정하고 있다(International Marine Contractors Association, 2016).

이상의 정의를 종합할 때, 산업잠수란 수중이라는 특수한 고압 환경에서 전문 장비와 기술을 활용하여, 경제적 보상 또는 특정 산업적 목적 달성을 위해 수행되는 제반 수중 작업으로 규정할 수 있다. 이러한 특성은 산업잠수가 일반 잠수 활동과 구별되는 고위험 전문 직무 영역임을

시사한다.

2. 산업잠수의 공간적 분류 기준

산업잠수는 작업 위치와 환경 조건에 따라 작업 위험도와 요구되는 안전관리 수준이 크게 달라진다. 이에 따라 국제적으로는 이러한 특성을 반영한 공간적 분류 체계가 적용되고 있다. 이러한 공간적 분류는 단순한 지리적 구분이 아니라, 작업 유형별 위험 특성을 제도적으로 구분하고 이에 상응하는 자격 요건, 감독 체계 및 안전 기준을 적용하기 위한 관리 기준으로 기능한다(Health and Safety Executive, 2014).

영국에서는 「Diving at Work Regulations 1997」에 근거하여 산업잠수를 외해, 연안 및 내수면 잠수로 구분한다(UK Government, 1997). 외해잠수는 주로 석유·가스 개발, 해상 에너지 설비, 해양 플랜트와 같이 연안에서 멀리 떨어진 해역에서 수행되는 작업을 대상으로 하며, 고압 환경에서의 장시간 작업, 복잡한 장비 운용, 제한된 비상 대응 여건 등으로 인해 높은 위험 수준을 갖는 작업으로 분류된다. 반면, 연안 및 내수면 잠수는 항만, 연안 구조물, 교량, 하천 및 저수지 등 비교적 접근성이 높은 수역에서 수행되는 작업을 포함하며, 상대적으로 수심이 얕고 작업 조건이 단순한 경우가 많다. 이러한 분류에 따라 영국에서는 작업 유형별로 적용 가능한 잠수사의 자격, 감독자 요건, 잠수팀 구성, 감시 체계 및 비상 대응 절차가 차등적으로 규정된다(Health and Safety Executive, 2014).

IMCA는 산업잠수의 공간적 분류에 있어 지리적 위치 자체보다는 작업의 산업적 목적과 위험 특성을 보다 핵심적인 기준으로 적용한다. 예를 들어, 작업 위치가 연안 해역에 해당하더라도 해상 에너지 산업이나 해양 플랜트 설치·유지보수와 같이 고위험 산업 활동을 지원하는 경우에는 외해 잠수 기준을 적용하도록 권고하고 있다. 이는 작업 장소보다 작업 내용과 위험 수준이 잠수

사의 안전 확보에 더 직접적인 영향을 미친다는 인식에 기반한 접근 방식으로, 국제적으로 산업잠수 현장에서 널리 활용되고 있다.

이와 같은 국제 기준의 공간적 분류 체계는 산업잠수 작업을 위험도에 따라 체계적으로 구분하고, 이에 상응하는 교육·훈련 수준과 자격 요건을 설정하기 위한 제도적 장치로 기능한다. 즉, 공간적 분류는 잠수사의 역량 관리와 안전 확보를 위한 핵심적인 관리 기준으로 작동하며, 자격관리 제도의 설계와 운영에 직접적인 영향을 미친다 (International Marine Contractors Association, 2014; Health and Safety Executive, 2025).

반면, 국내 산업잠수 제도에서는 이러한 공간적·위험도 기반 분류가 명확히 제도화되어 있지 않다. 산업잠수 작업은 해역의 위치나 작업 위험 수준과 관계없이 단일한 자격 체계 하에서 수행되는 경우가 많으며, 이로 인해 고위험 수중 작업과 상대적으로 위험도가 낮은 작업 간의 제도적 구분이 충분히 이루어지지 못하고 있다. 이러한 구조는 작업 특성에 비해 자격 요건과 안전관리 기준이 획일적으로 적용되는 문제를 야기할 수 있으며, 결과적으로 산업잠수 현장의 중대재해 위험을 증대시키는 요인으로 작용할 가능성이 있다.

3. 분석 대상 및 비교·분석 기준

본 연구는 국내 산업잠수 교육 및 자격관리 제도의 구조적 특성을 분석하기 위해 국내 제도와 국제적으로 통용되는 산업잠수 자격 체계를 비교하였다. 분석 대상은 산업잠수의 법적 정의, 직무 표준, 교육 운영, 자격 부여 및 사후 관리 체계를 확인할 수 있는 공식 자료를 중심으로 선정하였다. 국내 자료는 잠수 작업의 안전관리 기준을 규정하는 「산업안전보건기준에 관한 규칙」과 「고기압 작업에 관한 기준」, 직무 및 교육 내용을 제시하는 국가직무능력표준(NCS), 국가기술자격의 응시 기준과 검정 체계를 제공하는 한국

산업인력공단 국가기술자격 정보시스템(Q-net), 과정평가형·일학습병행 자격 포털(CQ-Net), 국방 분야 국가 자격 및 등록 민간자격 자료를 대상으로 하였다. 국외 자료는 국제 해양 산업 분야에서 산업잠수 교육·자격 및 현장 운용 기준으로 널리 활용되는 IMCA, ADCI, ADAS의 교육 및 자격 기준을 주요 분석대상으로 설정하였다.

비교·분석 항목은 산업잠수 자격 체계가 고위험 수중 작업에서 요구되는 전문성, 안전성 및 현장 적용성을 충분히 반영하고 있는지를 검토하기 위해 설정하였다. 교육 과정과 자격 부여 방식은 잠수사가 자격 취득 이전에 어떤 지식과 기술을 습득하고 어떠한 절차를 통해 자격을 부여 받는지를 확인하기 위한 항목이며 직무별 역할 구분, 잠수 감독관 및 생명유지 인력 자격은 잠수사, 감독관, 지원 인력 등 현장 구성원의 책임과 권한이 제도적으로 구분되어 있는지를 검토하였다. 또한 현장경력 검증 방식, 로그북 관리, 신체검사 및 자격 갱신 주기는 자격 취득 이후에도 잠수사의 현재 역량과 건강 상태가 지속적으로 관리되는지를 판단하기 위한 항목이다. 마지막으로 법적 효력, 자격 정지 및 제재 체계는 자격 제도가 현장 안전관리 수단으로 실질적 구속력과 관리 기능을 갖는지를 분석하기 위한 항목으로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 국내 산업잠수 교육 운용 현황

국내 산업잠수의 교육 현황과 자격 체계를 구분하여 살펴보고, 이에 따른 주요 구성 요소를 <Table 1>에 요약하여 제시하였다.

국내 산업잠수 교육 체계는 고위험 수중 환경에서의 직무 수행과 작업자의 생명 보호를 동시에 달성하는 것을 목표로, 전문 기술 숙련과 안전 역량 강화를 중심으로 발전해 왔다. 현재 국내 산업잠수 교육은 산업 현장의 직무 요구를

<Table 1> Overview of the education and certification framework for commercial diving in Korea

Category	Subcategory	Description
Training Content	National Competency Standards (NCS)	- Comprises 10 competency units, including dive planning, dive team operations, air and mixed-gas diving using SSDS, hyperbaric chamber operations, underwater welding and cutting, underwater blasting, underwater concreting, offshore structural work, and diving in extreme environments - The Craftsman level requires at least 12 hours of basic vocational competency training and 225 hours of mandatory competency training - The Industrial Engineer level requires at least 18 hours of basic vocational competency training and 315 hours of mandatory competency training
	Higher Education Act	- Korea Polytechnic (Gangneung Campus) established the first two-year commercial diving program in 2003 and continues to operate it - Dongjusan College established a marine commercial diving program in 2011; however, the program was discontinued in 2020 because of financial difficulties - Kunsan National University operates a field-oriented training model through its affiliated Ocean Industry Technology Training Center in collaboration with private institutions
Training Institutions	Lifelong Vocational Competency Development Act	Private training institutions include Seoul Commercial Diving Academy, Gyeongnam Industrial Diving Technology Institute, Gana Ocean Academy, Captain Commercial Diving School, and Korea Commercial Diving Association
Certification System	National Certification	- Craftsman diver certification: entry-level qualification - Industrial engineer diver certification: operational and supervisory level - Master craftsman diver certification: supervisory and managerial level
	Military Certification	- Class 1 diver: highest-level deep-sea diver qualified to operate saturation diving systems at depths of up to 300 m - Class 2 diver: diver trained for deep diving operations and capable of performing missions beyond standard operational depths - Class 3 diver: diver qualified to perform basic underwater exploration and rescue tasks
	Private Certification	- Level 1: highly skilled diver qualified to perform complex underwater construction tasks, including the installation and removal of offshore structures - Level 2: skilled diver qualified to perform advanced underwater construction tasks - Level 3: entry-level diver

반영하여 NCS를 통해 표준화되어 있으며, 이는 「고등교육법」에 따른 대학 기관과 「국민 평생 직업능력 개발법」에 따른 민간 훈련기관을 기반으로 운영되고 있다.

가. 교육 내용 분류

NCS에 규정된 산업잠수(분류번호 : 14080502) 직무는 대기압 이상의 고압 작업 환경에서 인원,

장비 및 자재를 투입하여 공기 또는 혼합기체를 호흡 매체로 사용하는 제반 수중 작업을 의미한다. 이는 단순한 수중 체류를 넘어, 구조물 용접 및 절단, 보수, 설치·해체, 안전 진단, 기초 고르기, 발파, 해난구조, 극한 환경 잠수 등 다양한 고위험 과업 수행을 포괄하는 직무로 정의된다.

이러한 직무 정의에 따라 산업잠수 교육 내용은 총 10개의 능력 단위로 세분화되어 있다. 해

당 분류는 잠수 계획 수립, 잠수팀 운영, SSDS 공기 잠수, SSDS 혼합기체 잠수, 기압조절실 운용, 수중 용접·절단, 수중 발파, 수중 토목, 해난 구조, 극한 환경 잠수로 구성된다. 특히, 이 분류 체계는 잠수사가 수중 시공 기술뿐만 아니라, 감압병 예방 및 치료를 위한 기압조절실 운용 능력과 잠수팀 전체의 안전을 관리하는 운영 역량을 함께 갖추도록 설계되어 있어, 기술적 숙련도와 안전관리 역량을 동시에 함양하는 것을 목표로 한다.

이러한 NCS 기반 교육 내용은 국가기술자격 체계인 잠수기능사와 잠수산업기사 과정에 단계적으로 적용된다. 한국산업인력공단 과정평가형·일학습병행제 자격 포털(CQ-Net)에 따르면, 잠수기능사 과정은 스쿠버 및 표면공급식 잠수장비를 운용하여 수중 구조, 인양, 용접, 발파 등의 실무 작업을 수행할 수 있는 현장 시공 인력 양성에 중점을 둔다. 해당 과정의 교육 기준은 직업 기초능력 12시간 이상, 필수 능력 225시간 이상으로 설정되어 있으며, 기초적인 잠수 물리 이론과 현장 적용 능력의 확보에 초점을 둔다.

반면, 더 높은 전문성을 요구하는 잠수산업기사 과정은 SSDS 장비뿐만 아니라 심해 잠수를 위한 혼합기체 잠수장비 운용 기술을 포함한다. 이 과정은 수중 시공 작업의 수행과 더불어 작업 현장 전반을 관리·감독할 수 있는 중간 관리자급 인력 양성을 목표로 한다. 이에 따라 교육 기준 시간은 직업 기초능력 18시간 이상, 필수 능력 315시간 이상으로 상향 규정되어 있으며, 이는 단순 시공을 넘어 현장의 위험 요소를 식별·통제하고 잠수팀을 관리하기 위한 안전관리 교육이 강화되어 있음을 의미한다.

나. 교육기관 분류

국내 산업잠수 교육 인프라는 「고등교육법」에 근거한 제도권 대학의 학위 과정과 「국민 평생 직업능력 개발법」 등에 기반한 민간 직업 훈련 과정으로 이원화되어 있다. 이들 기관은 상호

보완적인 관계 속에서 NCS에 부합하는 전문 잠수 인력을 양성하고 있다.

「고등교육법」에 근거한 교육은 이론적 배경과 실무 능력을 겸비한 인력의 양성을 목표로 한다. 한국폴리텍Ⅲ대학 강릉캠퍼스는 2003년 국내 최초로 2년제 산업잠수과를 신설하여 현재까지 운영 중인 대표적인 공공 직업 교육 기관으로, 산업잠수·수중 용접·비파괴 검사 등 고도의 전문성을 요구하는 정규 커리큘럼을 통해 산업기사 수준의 기술 인력을 지속적으로 배출하고 있다. 동부산대학교는 2011년 해양산업잠수과를 신설하여 동남권 해양 산업 인력 양성에 기여하였으나, 대학 재정 악화로 2020년 폐교되면서 해당 학과 또한 폐지되었다. 국립군산대학교는 학과 체제 대신 산하 기관인 해양산업기술교육센터를 통해 민간 기관과 협력하는 실무 중심 교육 모델을 운영하고 있으며, 재학생과 일반인을 대상으로 한 산업잠수 교육을 수행하고 있다.

반면 「국민 평생 직업능력 개발법」에 기반한 교육은 산업 현장의 수요에 즉각 대응할 수 있는 실무 중심 교육을 통해 자격 취득과 취업 연계에 중점을 두고 있다. 2009년 개원한 서울산업잠수아카데미는 국내 최대 규모의 시설을 갖춘 민간 지정 기관으로, 국립군산대학교와의 산학 협력을 통해 산업잠수사를 양성하고 있다. 이 외에도 경남권의 경남산업잠수기술학원, 전라권의 가나해양교육원, 캡틴산업잠수학교 등 지역 거점 교육 기관이 운영되고 있으며, 각 지역의 해양 산업 특성을 반영한 현장 밀착형 교육을 제공하고 있다.

한편, 사단법인 한국산업잠수기술인협회는 산하 교육기관으로 부산잠수기술원을 운영하며, 협회 차원의 표준화된 기술 지침과 안전 수칙을 기반으로 잠수사를 양성하고 있다.

2. 국내 산업잠수 관련 자격 제도 현황

가. 국가 산업잠수 자격 제도

국내 산업잠수 자격 제도는 1973년 제정된 「국가기술자격법」에 근거한 국가 검정 체계를 따른다. 기술·기능 분야 국가기술자격은 직무의 난이도와 책임 범위에 따라 기능사, 산업기사, 기사, 기능장, 기술사의 5단계 등급으로 구분되나, 잠수 직무 분야는 잠수기사와 잠수기술사가 부재하여 잠수기능사, 잠수산업기사, 잠수기능장의 3단계 등급 체계로 운용되고 있다. 한국산업인력공단 국가기술자격 정보시스템(Q-net)에서 주관하는 각 등급별 자격 검정 현황과 특성은 다음과 같다(<Table 2>).

- 산업잠수 분야의 입문 단계 자격으로 응시 자격에 제한을 두지 않아 비전공자나 초심자의 진입 장벽을 낮춘 것이 특징이다. 평가 체계는 잠수물리, 잠수위생, 잠수장비, 잠수 작업 등 기초 이론을 다루는 필기시험과 수중에서의 실제 작업 능력을 평가하는 실기시험으로 구성된다. 1984년부터 2024년까지의 검정 통계를 분석한 결과, 필기시험은 총 22,414명이 응시하여 13,986명이 합격함으로써 62.4%의 합격률을 기록하였고, 실기시험은 13,864명의 응시자 중 8,219명이 합격하여 59.3%의 합격률을 보였다. 1984-2024년의 누적 합격률은 필기 62.4%, 실기 59.3%로 나타났다.
- 잠수산업기사는 현장 실무와 관리 역량을 동시에 요구하는 중간 관리자급 자격이다. 이에 따라 관련 학과(2년제 대학 이상) 졸업자 또는 2

년 이상의 실무 경력자 등으로 응시 자격이 제한된다. 평가 과목 역시 기초 이론을 넘어 해양학, 잠수의학 및 생리학 등 관련 전문 지식이 추가되며, 실기시험에서는 단순 작업을 넘어 잠수 현장 관리 능력을 평가한다. 동일 기간(1984-2024년)의 통계에 따르면, 필기시험은 4,486명이 응시하여 2,210명이 합격(49.3%), 실기시험은 2,748명이 응시하여 1,090명이 합격(39.7%)하였다. 이는 기능사에 비해 필기 및 실기 합격률이 각각 13.1%와 19.6% 낮게 나타났으며, 등급 상향에 따른 난이도 상승과 함께 보다 높은 전문성이 요구됨을 시사한다.

- 잠수기능장은 현장의 최상위 관리·감독자로서 고도의 전문 지식과 안전 역량을 갖춘 인력을 배출하기 위해 2017년 신설되었다. 응시 자격은 동일 분야 9년 이상의 실무 경력, 혹은 하위 자격 취득 후 5-7년 이상의 경력을 요하는 등 엄격한 기준이 적용된다. 특히, 평가 과목에 산업안전에 관한 사항과 잠수 현장 관리·감독이 필수적으로 포함되어 있어, 기술적 숙련도뿐만 아니라 산업 재해 예방과 안전관리 총괄 능력을 핵심 평가 요소로 삼고 있다. 제도 시행 초기인 2018년부터 2024년까지의 데이터를 살펴보면, 필기시험 응시자 338명 중 84명만이 합격하여 24.9%의 저조한 합격률을 기록하였으며, 실기시험 역시 88명 중 불과 18명만이 합격하여 20.5%의 합격률을 보였다.

<Table 2> Qualification examination statistics for commercial diving qualifications in Korea

Qualification level	Examination period	Examination type	Number of applicants	Number of successful candidates	Pass rate
Craftsman diver	1984-2024	Written	22,414	13,986	62.4%
		Practical	13,864	8,219	59.3%
Industrial engineer diver	1984-2024	Written	4,486	2,210	49.3%
		Practical	2,748	1,090	39.7%
Master craftsman diver	2018-2024	Written	338	84	24.9%
		Practical	88	18	20.5%

나. 국방 분야 국가 자격

국방 분야 국가 자격은 「군인사법」 제46조의 4(국방 자격의 운영 등)에 근거하여, 군 복무 기간 중 습득한 특수 직무 수행 능력을 전역 후 사회와 연계하고 국가 산업 발전에 기여할 전문 인력을 육성하기 위해 마련된 제도이다. 이 중 심해잠수사 자격은 군의 핵심 전비 태세 유지와 더불어, 고위험 수중 환경에서의 인명 구조 및 특수 작업을 수행할 수 있는 고숙련 전문가를 배출하는 데 그 목적이 있다.

심해잠수사 자격의 시행 및 관리는 대한민국 해군 해난구조전대 교육훈련대대에서 주관한다. 본 자격은 민간의 국가기술자격과 달리 일반인에게 개방되지 않으며, 해군 특수전 요원 양성 과정에 입교하여 12주 이상의 강도 높은 기초 군사 훈련과 심해 잠수 특수 훈련을 이수한 자에 한해 검정 기회가 부여된다. 자격의 부여는 단순한 필기·실기 평가를 넘어, 극한의 체력 검정과 실제 작전 수행 능력을 포함한 엄격한 양성교육과 직무수행 평가를 통해 이루어지므로, 실무 적합성이 매우 높은 것이 특징이다.

「군인사법 시행규칙」(국방부령 제906호)에 따르면, 심해잠수사 자격은 숙련도와 임무 수행 범위에 따라 1급, 2급, 3급의 3단계 구조로 구분되며, 각 등급별 요구 역량은 다음과 같다.

- 심해잠수사 3급은 해난구조 초급 과정(양성 교육)을 수료한 자에게 부여되는 자격으로, SCUBA 및 SSDS 장비를 운용하여 기본적인 수중 탐색과 구조 임무를 수행할 수 있는 능력을 인증한다.
- 심해잠수사 2급은 3급 취득 후 일정 기간 이상의 구조 잠수 실무 경력을 보유하고, 심화된 심해 잠수 훈련을 통해 규정된 심도 이상의 작전 수행이 가능한 자에게 부여된다. 이는 악천후나 복합적인 위험 환경에서의 잠수 수행 능력을 입증한다.
- 심해잠수사 1급은 심해 잠수의 최상위 등급으

로, 300 m 이내의 대심도 환경에서 포화 잠수 시스템을 운용할 수 있는 전문가에게 부여된다. 이들은 혼합기체 운용뿐만 아니라 잠수 현장의 지휘·통제 능력을 갖추고 있어, 대규모 해난 사고나 국가적 재난 현장에서 안전 관리자 및 현장 지휘관으로서의 핵심적인 역할을 수행한다.

다. 민간 산업잠수 자격

국내 산업잠수 자격 체계는 「국가기술자격법」 및 「군인사법」에 근거한 국가 자격 체계를 중심으로 운영되며, 「자격기본법」 제17조에 따른 등록 민간자격이 일부 세부 직무 영역에서 보조적으로 활용되고 있다. 등록 민간자격은 국가공인 민간자격과는 구분되며, 자격 종목명, 등급, 관리·운영기관 등이 등록대장에 기재되는 행정적 등록 절차를 거친 자격을 의미한다.

이러한 등록 민간자격은 국가기술자격 체계가 즉각적으로 반영하기 어려운 세분화된 현장 기술, 특수 장비 운용, 직무별 실무 역량 등을 교육·평가하는 방식으로 운영될 수 있다. 따라서 등록 민간자격은 국가 자격과 동일한 공신력이나 법적 효력을 갖는 것으로 해석하기보다는, 산업현장의 수요에 대응하여 특정 직무 역량을 확인하는 보조적 자격 체계로 이해할 필요가 있다.

대표적인 운영 기관으로는 서울산업잠수아카데미와 사단법인 한국산업잠수기술인협회 등이 있으며, 이들은 실무 중심의 교육 및 검정 체계를 통해 산업잠수 관련 민간자격을 운영하고 있다. 해당 자격은 한국직업능력연구원 민간자격센터에 등록된 자격으로서, 산업잠수 현장에서 요구되는 일부 세부 직무 능력을 확인하는 수단으로 활용되고 있다.

등록된 민간 산업잠수사 자격(등록번호 2012-0018)은 해양수산부가 주무부처이고, 숙련도와 경력에 따라 1급, 2급, 3급으로 위계화되어 운영된다. 이는 현행 국가기술자격의 한계를 보완하여, 잠수사에게 명확한 경력 개발 경로를 제시한다는

점에서 중요한 의의를 갖는다. 구체적으로 3급은 초급 잠수사로서 요구되는 기본적인 잠수 물리 지식과 수중 작업 능력을, 2급과 1급은 숙련된 시공 기술을 바탕으로 복합적인 수중 구조물의 설치 및 해체 등 고난도 과업을 수행할 수 있는 전문성을 인증한다.

민간자격센터에 등록된 자격 외에도 세부 직무의 전문성과 안전성을 강화하기 위한 개별 특화 자격이 사단법인 등을 통해 운용되고 있다. 대표적으로 안전관리 분야로 잠수사의 생명 유지와 직결된 감압병 예방 및 치료를 담당하는 기압조절실 운용사와 수중 구조물의 안전성을 평가하는 수중구조물 안전진단사 등이 있다. 또한, 특수 기술 분야로 심해 잠수를 위한 혼합기체 잠수사, 고위험 작업을 수행하는 수중 용접·절단사, 수중 촬영사 및 해난구조사 등이 있다. 이러한 세분화된 자격들은 각 직무 특성에 최적화된 안전 수칙과 전문 기술을 인증함으로써, 포괄적인 국가 자격이 미치지 못하는 영역에서 산업 재해 예방과 수중 작업 안전성 제고에 기여하고 있다.

3. 국외 산업잠수 교육 및 자격

산업잠수는 작업 특성상 고도의 위험을 수반하므로, 국제적으로 통용되는 엄격한 교육·훈련 및 자격 인증 체계가 요구된다. 특히, 해양 플랜트 및 심해 잠수 분야에서는 IMCA, ADCI, ADAS의 기준이 현장 표준으로 기능하고 있으며, 각 인증기관에 의해 승인된 전문 교육기관은 이러한 표준을 실제 현장 실무에 적용하는 핵심적인 역할을 수행한다.

4. IMCA의 교육 및 자격 체계

국제 해양 산업계는 1990년대부터 산업잠수의 고위험성을 인식하고, 역량 기반 접근을 통한 안전관리 체계 구축을 시도해 왔다. 그중 IMCA는 런던에 본부를 둔 국제 해양 공사 협회로, 전 세계 해양 에너지 산업의 안전 및 기술 표준을 선

도하는 비영리 무역 기구이다. IMCA 잠수 분야에서 제정한 지침은 법적 구속력은 없으나, 주요 에너지 기업과 발주처가 공사 입찰 및 계약 조건으로 IMCA 가이드라인 준수를 요구하고 있어 국제적으로 가장 높은 실효성을 지닌 기준 중 하나로 평가된다.

IMCA 교육 및 자격 체계의 핵심은 단순한 교육 이수 여부가 아니라, 실제 현장에서의 직무 수행 능력을 지속적으로 검증하고 보증하는 데 있다. IMCA는 잠수사를 직접 교육하지 않고, 엄격한 감사 절차를 통과한 전 세계의 승인된 교육기관에 교육을 위탁한다. 이러한 체계를 통해 해당 기관에서 배출된 인력만이 IMCA 기준에 부합하는 잠수 인력으로 인정받을 수 있다. IMCA의 잠수 감독관의 자격 취득 최소 요건은 <Table 3>에 나타내었고, 잠수 인력 지원과 산업잠수사의 최소 자격 요건은 <Table 4>와 <Table 5>에 나타내었다.

가. 역량 보증의 개념 및 원칙

IMCA 지침에 따르면 산업잠수 분야에서 요구되는 역량은 단순한 자격 취득과는 구별되는 개념으로 정의된다(International Marine Contractors Association, 2016). 여기서 역량이란 작업을 안전하고 효율적으로 수행할 수 있는 적절한 훈련, 지식, 기술, 그리고 현장 경험이 결합된 상태를 의미한다. 이는 잠수사가 교육 기관에서 정규 과정을 이수하였다 하더라도, 실제 현장에서의 경험과 숙련도가 충분히 축적되지 않으면 완전한 역량을 갖춘 것으로 인정되지 않음을 시사한다.

IMCA의 교육 및 인증 체계는 이러한 역량을 객관적으로 입증하는 데 초점을 둔다. 모든 해양 공사 계약자는 자사 소속 인력뿐만 아니라 고용된 프리랜서 인력에 대해서도 자체적인 역량 보증 체계를 수립·운영할 의무를 진다. 이는 안전이 최우선으로 요구되는 해양 환경에서 인적 오류를 최소화하기 위한 제도적 장치로 기능한다.

나. 직무별 역할 및 자격 기준 분석

IMCA는 산업잠수 인력의 직무 체계를 관리·감독, 잠수 운용, 기술 지원의 세 가지 핵심 축으로

구분한다. 이러한 인력 체계는 단순한 수직적 계급 구조가 아니라, 각 직무가 고유한 전문성과 상호 보완적인 안전 책임을 갖도록 설계되어 있다.

<Table 3> Minimum prerequisites for IMCA-certified diving supervisors

Job function	Main role	Entry-level qualifications
Diving superintendent	- Overall person in charge of all diving operations on a vessel / installation. - Provides HSE leadership, approves dive plans, oversees bell and SSDS operations, supervises life support system operations, manages emergencies and project risk, and interfaces with clients	- Completed training for an IMCA-recognised closed bell or SSDS diver qualification - Demonstrated competence as a bell or air diving supervisor in accordance with IMCA requirements - Training in leadership and documented experience - Valid offshore medical suitable for area of work - Valid offshore survival course for area of work - Introductory dynamic positioning course if working on a diving support vessel - Completed employer company familiarisation with signed logbook
Bell (Saturation) diving supervisor	- Front-line supervisor for saturation diving operations - Manages bell deployment and recovery, bell divers, TUP procedures, hyperbaric evacuation / rescue, and emergency response in a saturation environment. - Must understand and control the full technical, operational and medical risks of saturation systems	- Completed training for an IMCA-recognised a bell (saturation) diver qualification - Demonstrated competence as an offshore bell diver with at least 400 lockout hours - Completed and passed air diving supervisor training course - Completed and passed bell (saturation) diving supervisor training course - At least 350 panel hours, minimum 50 bell runs over at least 90 days as a trainee bell diving supervisor - Demonstrated competence as a bell diving supervisor during training, with satisfactory offshore reports - Acted as a trainee air diving supervisor on 10 offshore commercial air dives - Logged a minimum of 360 hours as an assistant life support technician (ALST) - Passed IMCA bell diving supervisor examination - Valid offshore medical and offshore survival course - Leadership training and employer familiarisation completed
Air SSDS diving supervisor	- Front-line supervisor for SSDS diving operations. - Operates the air control panel, manages diver deployment / recovery, enforces dive and emergency procedures, manages risks related to current, visibility, worksite and vessel interaction.	- Completed training for an IMCA-recognised air (surface-supplied) diver qualification - Demonstrated competence as an offshore air diver and completed 200 offshore commercial dives - Completed and passed an air diving supervisor training course - Completed 200 hours as a trainee air-diving supervisor on the air control panel over at least 100 surface dives and 60 days - Demonstrated competence as an air diving supervisor by the end of training, with satisfactory offshore reports - Passed IMCA air diving supervisor examination - Valid offshore medical and offshore survival course - Leadership training and employer familiarisation completed

<Table 4> Minimum prerequisites for IMCA life-support and diving-system technical roles

Job function	Main role	Entry-level qualifications
Life Support Supervisor (LSS)	• Person in charge of life support operations for saturation systems. Manages chamber pressure, gas composition, temperature, humidity, reclaim systems, diver welfare, and coordinates with hyperbaric physician for treatment and evacuation (HES/SPHL) • Leads life support technician (LST) team	• Passed the IMCA LST examination • Logged at least 2,400 hours as an LST thereafter • Valid offshore medical • Valid offshore survival course • Demonstrated competence as an LST, supported by a valid competence certificate. • Leadership training (documented in logbook) • Completed employer familiarisation (signed logbook)
Life Support Technician (LST)	• Operates life-support equipment for a saturation diving system • Controls chamber pressure and gas systems, manages hot water and environmental control, records logs, and carries out routine maintenance under LSS direction	• Either: - Minimum 2,400 logged hours as trainee ALST and demonstrated competence - At least 360 logged hours as ALST plus an IMCA-recognised closed bell diver qualification - A valid diving certificate with a signed logbook confirming relevant experience • Valid offshore survival course • Passed IMCA LST examination • Completed employer familiarisation (signed logbook)
Assistant Life Support Technician (ALST)	• Assistant to the life support team in saturation systems • Assists with chamber monitoring, logging, routine operations and maintenance, and develops experience towards full LST status	• One of the following: an IMCA-approved ALST course certificate; an IMCA-recognised bell-diver qualification; or a valid diving certificate • Valid offshore medical • Valid offshore survival course • Completed employer familiarisation (signed logbook)
Senior dive technician (all systems)	• Senior technician responsible for all types of diving systems (saturation, surface-supplied etc.) • Leads maintenance, inspection, testing, troubleshooting, and repair activities across electrical, electronic, mechanical, and hydraulic subsystems	• In-depth knowledge of at least one of the following engineering disciplines: electrical, electronic, mechanical, or hydraulic engineering. Such knowledge must have been acquired through a relevant trade qualification, advanced academic education, or relevant military training, experience, and qualifications. • A valid offshore medical certificate • A valid offshore survival training certificate • Completion of employer familiarisation training, documented in a signed logbook
Dive technician	• Entry-level dive technician • Performs maintenance, planned preventive maintenance, breakdown response, and documentation for diving systems, including chambers, bells, panels, LARS, and gas systems	• Demonstrated expertise in at least one engineering discipline (electrical, electronic, mechanical, or hydraulic), acquired through formal education, trade qualification, or relevant military experience, along with a valid offshore medical certificate appropriate to the area of work • Valid offshore survival course • Completed employer familiarisation (signed logbook)

<Table 5> Minimum prerequisites for IMCA-recognised commercial diver qualifications

Job function	Main role	Entry-level qualifications
Bell (saturation) diver	• Saturation diver working from a closed bell • Performs high-risk subsea construction, inspection, cutting/welding and other tasks in a high-pressure environment, manages own safety and health during saturation exposure, and responds to emergencies under supervisor's direction	• Holds an IMCA-recognised closed-bell diver qualification • Passed medical examination for fitness to dive (valid certificate) • Valid offshore survival course for area of work • Completed employer company familiarisation (signed logbook) • Completed first aid training to the required standard or diver medic training (valid certificate) • For inspection work, holds the appropriate inspection qualification
Air SSDS diver	• Commercial diver using surface-supplied equipment • Conducts in-water construction, maintenance, cutting/welding, and inspection tasks, mainly in offshore and inshore environments, under the direction of an air diving supervisor. • Includes optional nitrox-related competences	• Holds an IMCA-recognised air-diver qualification • Holds a valid certificate of medical fitness to dive • Valid offshore survival course for area of work • Completed first aid training to required standard or diver medic training (valid certificate) • Completed employer company familiarisation (signed logbook) • For inspection-only work: holds the appropriate inspection qualification

첫째, 관리·감독 직무군은 총괄 책임자와 감독관으로 구성된다. 총괄 책임자는 프로젝트 전체의 리스크 관리와 발주처와의 소통을 담당하는 최상위 관리자로서의 역할을 수행하며, 실제 작업 현장의 직접적인 통제는 잠수 감독관에게 위임된다. 특히, 벨 잠수 감독관은 심해 포화 잠수 시스템의 복잡성을 고려하여, 잠수사의 생명 유지와 감압 절차 전반에 대해 법적·기술적 책임을 부담한다. 이들 직무는 단순한 교육 이수만으로 자격이 유지되지 않으며, 일정 시간 이상의 운용 실습과 경력 요건을 충족한 경우에 한해 자격이 인정된다.

둘째, 생명 유지 및 기술 지원 직무군은 포화 잠수의 특수성을 반영한 IMCA 체계의 핵심 구성 요소이다. 생명 유지 기술자는 기압조절실 내부의 폐쇄된 환경을 제어하며, 잠수사가 고압 환경에서 장기간 안전하게 생존할 수 있도록 기체 분압, 온도 및 습도를 정밀하게 관리한다. 또한, 잠

수 시스템 기술자는 규정에 따라 생명 유지 장치와 지원 설비의 기계적·전기적 무결성을 보증하는 역할을 수행한다.

셋째, 잠수 운용 직무군은 SSDS 공기 잠수사와 벨 잠수사로 구분된다. 이는 작업 수심과 호흡 기체의 종류(공기 또는 혼합기체)에 따른 구분이자, 단계적 경력 개발 경로를 명확히 규정한 구조를 의미한다. 모든 벨 잠수사는 공기 잠수사로서의 역량을 선행적으로 입증해야 하며, 이는 잠수사의 기본적인 안전 역량이 심해 환경에서도 유지되도록 하는 제도적 안전장치로 작용한다.

결과적으로, IMCA의 자격 기준은 초기 교육에 국한되지 않고, 현장 경험과 지속적인 역량 평가가 결합되어야만 완성되는 구조를 갖는다.

다. 자격 갱신 체계

IMCA 자격은 명시적인 유효기간을 설정하지는 않으나, 잠수사의 지속적인 직무 역량 유지와 최신 안전 기준 준수를 보장하기 위해 엄격한 유

지·관리 요건을 부과한다. 모든 잠수사는 매년 잠수 의학 전문 지식을 갖춘 승인된 의사를 통해 직업 잠수 적합성에 대한 신체검사를 통과해야 하며, 사고 발생에 대비하여 잠수팀의 모든 구성원은 유효한 응급처치 자격을 상시적으로 유지해야 한다.

또한, 모든 잠수사는 IMCA 형식 또는 이에 준하는 승인된 형식의 개인 로그북을 지속적으로 관리해야 하며, 각 잠수 기록은 해당 작업이 수행된 당일에 잠수 감독관의 서명과 고용 주체의 확인이 포함된 경우에 한하여 공식 경력으로 인정된다. 장기간 잠수 활동이 중단된 경우에는 현장 투입에 앞서 얕은 수심에서의 체크 다이빙 또는 시뮬레이션 훈련을 실시하고, 이를 통해 잠수 감독관으로부터 해당 잠수사의 현행 운용 역량을 재확인받도록 규정하고 있다.

5. ADCI의 교육 및 자격 체계

미국에 본부를 둔 ADCI는 미국국립표준협회(American National Standards Institute) 및 산업잠수교육자협회(Association of Commercial Diving Educators)와 연계하여 「산업잠수 및 수중 작업에 관한 국제 합의 표준」을 수립하고, 이를 통해 산업잠수사의 교육·훈련 체계와 자격 기준을 규정하고 있다. 해당 표준은 북미 지역을 중심으로 적용되고 있으나, ADCI 회원사 및 인증 교육기관을 통해 전 세계적으로 활용되고 있어 국제적 표준으로서의 기능을 수행하고 있다.

가. 자격 인증 및 교육 이수 체계

ADCI의 교육 및 자격 인증 체계는 IMCA의 역량 중심 접근 방식과는 달리, 협회 차원에서 관리되는 단계적 인증 제도를 근간으로 운영된다. 해당 체계는 교육기관에서의 정규 교육 이수와 현장에서의 실무 경험을 정량적 지표로 평가하여 자격 등급을 부여하는 구조를 갖는다.

세부 요건은 <Table 6>에 명시되어 있다.

<Table 6> Certification and qualification requirements by occupational role in the ADCI system

Certification	Requirement					
	Formal training	Field days	Working dives	System operation	Field days as an assistant supervisor	Examination
Entry-level tender/diver	625 hours	-	-	-	-	-
Air dive	-	100 days	30 dives	-	-	-
Air dive supervisor	-	200 days	50 dives	-	30 days	Required
Mixed-gas diver	-	100 days (air) and 50 days (mixed gas)	50 dives (air) and 10 dives (mixed gas)	-	-	-
Mixed-gas diver supervisor	-	350 days (air or mixed gas)	150 dives (air or mixed gas)	-	30 days	Required
Bell/saturation diver	-	200 days (air or mixed gas)	100 dives (air or mixed gas)	30 days	-	-
Bell/saturation diver supervisor	-	100 days as mixed gas diving supervisor	-	-	60 days	Required
Life-support technician	-	100 days as an assistant LST	-	-	-	Required
Saturation technician	-	180 days as an assistant saturation technician	-	-	-	Required

해당 교육 과정은 잠수 물리학 및 생리학, 감압표 운용, 잠수 장비의 운용 및 유지관리, 응급 처치 등 산업잠수 수행에 필수적인 이론 및 실습 내용을 포함하며, 이를 수료한 경우에 한해 산업잠수사로서의 입문(초급) 단계 자격 취득이 가능하다.

ADCI 자격 체계의 핵심적인 특징은 현장 근무 일수와 작업 잠수 횟수를 상위 등급 승급의 필수 요건으로 명확히 규정하고 있다는 점이다. 이는 단순한 교육 이수만으로 잠수사 자격을 인정하지 않고, 실제 작업 현장에서의 경험을 통해 역량이 검증된 인원만이 상위 등급으로 진급할 수 있도록 한 제도적 장치로 해석된다. 이러한 구조를 통해 ADCI 체계는 산업잠수사의 실질적인 현장 수행 능력과 안전관리 역량을 단계적으로 확보하는 체계를 구축하고 있다(Association of Diving Contractors International, 2011).

나. 직무별 역할 및 자격 기준

ADCI는 산업잠수 인력을 숙련도 수준과 수행 가능한 잠수 방식에 따라 입문 단계, 산업잠수사, 감독관, 그리고 잠수 지원 인력으로 위계화하여 관리하고 있다. 직무별 정의와 요구 역량은 다음과 같이 구분된다.

첫째, 입문 단계 텐더·잠수사는 공인된 교육기관에서 최소 625시간의 정규 교육 과정을 이수하였으나, 현장 실무 경험이 없는 초급 인력을 의미한다. 해당 인력은 단독으로 잠수 임무를 수행할 수 없으며, 주로 지상 보조 업무, 기압조절실 운용 보조 등의 역할을 수행하면서 현장 적응과 실무 역량을 축적하는 수련 과정을 거친다.

다. 자격 갱신 체계

ADCI가 발급하는 모든 산업잠수 자격은 영구 자격이 아닌 유효기간이 설정된 자격으로 관리된다. 일반적으로 자격의 유효기간은 5년으로 규정되어 있으며, 입문 단계 자격의 경우 현장 적응과 초기 숙련도 검증을 목적으로 2년으로 제한된다. 자격 소지자는 유효기간 만료 이전에 본인의

직무 수행 능력이 당시 적용되는 ADCI 표준을 충족함을 입증함으로써 자격 갱신 절차를 이행해야 한다(Association of Diving Contractors International, 2011).

유효기간이 경과하여 갱신 절차를 이행하지 않거나 일정 기간 이상 산업잠수 현업에서 이탈한 경우, 해당 자격은 일시 정지 또는 말소 조치가 이루어질 수 있다. 이 경우 자격의 재취득을 위해서는 협회가 요구하는 보수 교육 과정의 이수 또는 하위 등급 자격에서의 일정 기간 실무 종사를 통해 현장 수행 역량을 재검증받아야 한다. 이러한 자격 갱신 체계는 산업잠수사의 지속적인 직무 역량 유지와 최신 안전 기준 준수를 제도적으로 담보하는 장치로 기능한다.

6. ADAS의 교육 및 자격 체계

ADAS는 호주 연방 정부가 1988년 직업 잠수 작업의 안전성 확보와 산업잠수 인력의 체계적 양성을 목적으로 수립한 국가 차원의 직업 잠수 교육·훈련 및 자격 인증 체계이다. 호주기술품질청(Australian Skills Quality Authority)에 등록된 훈련 기관으로 국가 자격 체계 내에서 제도화된 형태로 관리되고 있다(Australian Diver Accreditation Scheme, 2024). 이러한 체계를 통해 ADAS는 호주를 중심으로 뉴질랜드 및 국제적으로 통용 가능한 산업잠수 기준을 제시하는 역할을 수행하고 있다.

가. 교육 운영 및 평가 체계

ADAS는 직접 교육을 수행하기보다는, 엄격한 감사 절차를 통해 승인된 공인 훈련기관에 교육 과정을 위탁·운영하는 방식을 채택하고 있다. ADAS는 해당 훈련기관이 자격 기준, 교육 과정, 평가 절차 등 ADAS에서 정한 표준을 준수하는지를 지속적으로 점검·모니터링한다.

ADAS 교육 체계의 핵심적인 철학은 역량 기반 평가에 있다. 이는 단순한 교육 시간 이수를 넘어, 훈련생이 실제 현장에서 직무를 안전하고

효율적으로 수행할 수 있는지를 객관적인 증거에 기반하여 입증해야 함을 의미한다. 평가는 필기 시험과 실기 평가로 구성되며, 이론 평가는 75% 이상의 합격 기준을 충족해야 한다. 실기 평가는 통제된 환경에서 현실적인 작업 시나리오를 바탕으로 수행되며, 훈련생의 수행 결과는 훈련기록부에 체계적으로 기록·관리된다(Australian Diver Accreditation Scheme, 2024).

나. 직무별 등급 분류 및 자격 기준

ADAS의 자격 등급 체계는 잠수사의 숙련도, 작업 수심, 그리고 사용 장비의 종류를 기준으로 체계적으로 분류된다. 모든 지원자는 교육 입과 시점 기준 만 18세 이상이어야 하며, 관련 기준을 충족하는 직업 잠수 신체검사에서 적격 판정을 받아야 한다. 또한, 최소 200 m를 중단 없이

수영할 수 있는 수준의 기초 수영 능력 요건이 요구된다.

산업잠수사의 주요 자격 등급별 정의와 적용 범위는 다음과 같으며, 세부 요건은 <Table 7>에 제시되어 있다(Australian Diver Accreditation Scheme, 2024).

- **Part I** : 직업 잠수의 입문 단계로, SCUBA 잠수 장비를 활용하여 수심 30 m 이내에서 제한적인 작업을 수행할 수 있는 역량을 인증하는 등급이다. 해당 등급은 과학 잠수 및 비교적 경작업 중심의 수중 활동에 주로 적용된다.
- **Part II** : SSDS를 사용하여 수심 30 m 이내에서 건설, 유지관리 등 일반적인 산업잠수 작업을 수행할 수 있는 자격 등급이다.

<Table 7> Training and qualification levels in the ADAS occupational diving system

Certification	Requirement
Part I (Occupational SCUBA to 30 m)	• Be at least 18 years of age at the commencement of training • Hold a valid certificate of medical fitness to dive (AS/NZS 2299.1) • Be able to swim competently • Hold a recognised certificate of recreational diving competence
Part II (SSDS Diver to 30 m)	• Hold a current ADAS Part I qualification or an approved equivalent, or be enrolled in an integrated Part I-II or Part I-III course • Hold a current recognised Diver Medic Technician certificate or a current First Aid certificate from an accredited training organisation • Hold a valid certificate of medical fitness to dive (AS/NZS 2299.1)
Part III (SSDS Diver to 50 m)	• Hold a current ADAS Part II or Part III Restricted qualification, or have successfully completed all required competency assessments within the month prior to commencement of training • Hold a current recognised Diver Medic Technician certificate or a current First Aid certificate • Hold a valid certificate of medical fitness to dive
Part IV (Closed Bell Diver)	• Hold a current ADAS Part III qualification or approved equivalent for a minimum of 12 months • Have completed at least 100 dives with a minimum total bottom time of 100 hours since becoming a Part III diver • Qualifying experience must comprise surface-supplied dives conducted in open water and include at least 20 dives deeper than 15 m. Dives shallower than 6 m and training or assessment dives are excluded. Only bottom time, excluding decompression time, may be counted, and all dives must be formally logged and certified by a qualified supervisor. • Hold a current recognised Diver Medic Technician certificate or a current First Aid certificate • Hold a valid certificate of medical fitness to dive

- Part III : Part II의 운용 역량을 기반으로 작업 수심을 50 m까지 확장한 등급으로, 기압조절실 운용과 습식 벨을 포함한 보다 복합적인 잠수 절차 수행 능력을 요구한다.
- Part IV : 심해 환경에서의 잠수 작업을 수행하는 최상위 등급으로, 포화 잠수 시스템과 폐쇄식 벨 운용 기술을 포함한 고위험 잠수 작업 수행 역량을 인증한다.

한편, ADAS는 산업잠수사 자격 외에도 산업잠수 현장에서 요구되는 다양한 전문 인력에 대한 자격 인증 체계를 함께 운영하고 있다. 대표적으로 감독관 과정, 생명 유지 기술자, 응급처치 자격, 잠수 의료 기술자, 기압조절실 운용자, 그리고 ROV 운용 인력 등이 이에 해당한다. 이러한 자격 체계는 산업잠수 작업 전반의 안전성과 직무 전문성을 보완적으로 확보하기 위한 인증 체계로 기능한다.

다. 자격 갱신 체계

ADAS 자격은 영구 자격이 아니며, 잠수사의 지속적인 역량 유지와 최신 안전 기준 준수를 보장하기 위해 유효기간을 설정하여 관리된다. Australian Diver Accreditation Scheme(2024)에 따르면 대부분의 ADAS certification 및 licence는 5년의 유효기간을 가지며, 예외적으로 Diver Medical Technician 자격은 2년의 유효기간을 갖는다. 또한 ADAS licence는 자격 유효기간뿐만 아니라 직업잠수 신체검사 적합성 요건을 충족한 경우에 한하여 잠수 업무 수행에 유효한 것으로 인정된다.

자격 갱신은 단순한 행정적 기간 연장이 아니라, 해당 자격자가 관련 ADAS에서 요구하는 기술과 지식을 현재까지 유지하고 있음을 입증하는 절차를 포함한다. 갱신 대상 잠수사와 잠수 감독관은 ADAS의 요청이 있을 경우 로그북 또는 이에 준하는 증거자료를 통해 현재 실무 수행 경험과 역량 유지 여부를 입증해야 한다. 또한 ADAS는 갱신 신청자에 대해 무작위 감사를 실시할 수

있으며, 역량 입증이 불충분한 경우 자격 반납을 요구할 수 있다.

7. 국내외 산업잠수 자격 체계 비교 분석

국내 산업잠수 자격 제도와 국제적으로 통용되는 IMCA, ADCI, ADAS의 교육·자격 기준을 비교·분석한 결과, 자격 인증의 설계 철학, 자격 관리의 지속성, 그리고 직무 분류의 현장 정합성 측면에서 본질적인 구조적 차이가 확인된다. 이러한 차이는 단순한 제도 운영 방식의 차원을 넘어, 산업잠수 분야에서 중대재해 예방을 위한 안전관리 체계의 실효성에 직접적인 영향을 미치는 핵심 요인으로 작용한다.

가. 자격 인증 및 검증 방식

국내 산업잠수 자격 제도는 국가기술자격법에 근거한 검정형 제도를 채택하고 있으며, 필기 및 실기 시험의 합격 여부가 자격 취득의 절대적 기준으로 기능한다. 이러한 방식은 자격 취득 시점에서의 기초 이론 이해도와 표준화된 기능 숙련 여부를 일괄적으로 평가하는 데에는 일정한 효과를 가진다. 그러나 불확실성이 높고 환경 변화가 큰 수중 작업의 특성을 고려할 때, 시험 중심의 평가만으로는 실제 현장에서 요구되는 위기 인지 능력, 상황 판단 능력, 비정형 사고에 대한 대응 역량을 충분히 검증하기 어렵다는 한계를 내포한다.

반면, IMCA, ADCI, ADAS로 대표되는 국제 기준은 자격 취득 자체를 최종 목표로 설정하지 않고, 현장 수행 역량의 지속적 보증을 자격 제도의 핵심 가치로 설정하고 있다. 이들 체계에서 교육 이수자는 잠수사로서의 진입 요건에 해당하며, 자격의 실질적 효력은 로그북에 기록된 잠수 경력, 감독관의 현장 평가, 그리고 반복적인 실무 검증을 통해 확보된다. 즉, 국제 기준에서의 자격은 단발성 시험의 결과가 아니라, 교육-경험-평가가 결합된 과정 중심의 역량 증명 수단으로 기능한다.

이러한 비교를 통해 볼 때, 국내 자격 제도가 ‘시험 중심의 면허적 성격’을 띠는 반면, 국제 기준은 ‘경험과 검증에 기반한 역량 인증 체계’라는 점에서 자격 제도의 철학적 출발점부터 명확한 차이를 보인다.

나. 자격관리 체계 비교

자격의 유효성과 사후 관리 방식에서도 국내외 제도 간의 차이는 더욱 두드러진다. 국내 산업잠수 자격은 한 번 취득하면 별도의 갱신 절차 없이 평생 유효한 영구 자격으로 운영된다. 이로 인해 자격 취득 이후 장기간 현장 활동이 중단되거나, 신체적·기술적 역량의 저하가 발생하더라도 법적 자격 자체는 유지되는 구조적 문제가 발생한다.

반면, IMCA, ADCI, ADAS 체계에서는 자격의 유효성을 제한하거나 주기적인 검증 절차를 의무화하고 있다. ADCI는 자격 등급에 따라 유효기간을 설정하고 있으며, ADAS는 대부분의 certification 및 licence에 대해 5년의 유효기간을 적용하되, Diver Medical Technician 자격은 2년으로 관리한다. 또한 ADAS licence는 직업잠수 신체검사 적합성이 유지되는 경우에 한하여 잠수 업무 수행에 유효하며, 갱신 시에는 ADAS에서 요구하는 기술과 지식이 현재까지 유지되고 있음을 로그북 등의 증거자료로 입증해야 한다. IMCA 또한 명시적 유효기간은 두지 않으나 연례 신체검사, 응급처치 자격 유지, 로그북 관리, 장기 공백 시 재검증 등의 요건을 통해 사실상의 갱신형 자격관리 체계를 운영하고 있다. 이러한 제도는 잠수사의 현재 시점에서의 신체 적합성, 숙련도 유지 여부, 최신 안전 기준에 대한 이해 수준을 반복적으로 점검함으로써, 자격과 실제 역량 간의 괴리를 최소화하는 안전장치로 기능한다.

결과적으로 국내 제도의 영구 자격 구조는 행정적 관리 측면에서는 단순성을 제공할 수 있으나, 고위험 작업인 산업잠수의 특성을 고려할 때 현행 역량을 담보하지 못하는 구조적 취약성을

내포하고 있다고 평가할 수 있다.

다. 직무 분류 체계와 현장 적합성

직무 분류 및 자격 체계의 현장 적합성 측면에서도 국내외 제도 간의 구조적 차이가 확인된다. 국내 산업잠수 자격은 기능사-산업기사-기능장으로 이어지는 수직적 등급 체계를 중심으로 운영되며, 이는 경력 축적과 관리 역량의 단계화를 일정 부분 반영한다. 그러나 이 체계는 작업 수심, 호흡 기체의 종류, 잠수 방식(공기, 혼합기체, 포화 잠수)과 같은 기술적·위험도 기반 직무 특성을 명확히 반영하지 못한다.

특히, 심해 잠수에서 핵심적인 역할을 수행하는 포화 잠수사, 생명 유지 기술자, 잠수 시스템 기술자와 같은 고위험 전문 직무에 대해 국가기술자격이 부재하거나 민간 자격과 혼재되어 운영됨으로써, 제도적 관리의 일관성과 공신력이 저하되는 문제가 발생한다. 이는 고위험 직무일수록 보다 엄격한 자격 요건과 관리 체계가 요구된다는 안전관리 원칙과 배치되는 구조이다.

반면, IMCA, ADCI, ADAS는 잠수사의 직무를 위험도와 역할에 따라 세분화하고, 각 직무에 대해 독립적인 자격 요건과 책임 범위를 명확히 설정하고 있다. 특히, 잠수 감독관, 생명 유지 인력과 같이 현장 안전관리의 핵심 역할을 수행하는 직무에 대해 별도의 자격 체계와 엄격한 요건을 부과함으로써, 자격 제도가 단순한 인력 인증 수단을 넘어 현장 안전관리 시스템의 핵심 구성 요소로 작동하도록 설계되어 있다.

라. 현장 지휘·관리 체계의 제도적 현황

2003년부터 2022년 4월까지 국내 산업잠수 작업 중 발생한 사망사고는 총 61건이며, 주요 사고 유형은 익수 17건, 끼임 16건, 산소결핍 및 질식 13건, 감압질환 4건, 충격 4건, 기타 7건으로 나타났다(Kang, 2022). 이러한 사고는 작업 환경과 조건에 따라 다양한 원인이 복합적으로 작용한 결과로 볼 수 있으나, 상당수는 사전에 체계적인 지휘·관리 체계가 마련되어 있었다면 사고

발생 가능성을 낮출 수 있었음을 시사한다.

그러나 현행 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서는 관리감독자를 “사업장의 생산과 관련되는 업무와 그 소속 직원을 직접 지휘·감독하는 자”로 정의하고 있을 뿐, 잠수 작업에 특화된 지휘·관리 기준은 명확히 제시하고 있지 않다. 특히 잠수 작업과 관련해서도 “잠수 작업자 2인을 1조로 구성하고 감시인을 배치하여 이상 유무를 확인하도록 한다”는 수준에 머물러 있어, 수중 작업의 특수성과 위험성을 충분히 반영한 전문적 현장 지휘 체계로 보기에 한계가 있다.

이와 같은 제도적 구조에서는 현장 관리자가 잠수 작업에 대한 전문지식과 경험을 충분히 갖추지 않은 상태에서도 관리 역할을 수행할 수 있으며, 감시인 역시 잠수 상황에 대한 전문적 판단과 비상 대응 역량이 부족한 비전문 인력으로 운영될 가능성이 있다. 그 결과 수중에서 발생하는 비상 상황에 대해 즉각적이고 적절한 대응이 이루어지지 못할 수 있으며, 이는 사고 발생 및 피해 확대의 요인으로 작용할 수 있다.

따라서 산업잠수 현장의 안전성을 확보하기 위해서는 잠수 작업의 특수성을 반영한 전문적 지휘·관리 체계의 제도화가 필요하며, 지휘·관리자의 자격 요건, 역할, 책임 범위, 비상 대응 권한을 명확히 규정하는 기준 마련이 요구된다.

마. 시사점

국내 산업잠수 자격 제도는 제도적 틀 자체는 구축되어 있으나, 자격 인증의 기본 철학, 자격 취득 이후의 사후 관리 지속성, 그리고 직무 위험도에 기반한 자격 분화 측면에서 국제 기준과 비교할 때 구조적 한계를 지닌다. 특히 자격 취득 이후 별도의 갱신 제도나 지속적인 역량 검증 체계가 부재하여, 잠수사의 기술 수준과 안전 역량을 주기적으로 유지·관리하기 어려운 구조적 문제가 존재한다.

이러한 한계는 산업잠수 현장에서 반복적으로 발생하는 중대재해를 단순한 개인 과실이나 현장

관리 미흡의 문제로 환원하기보다는, 자격관리 제도의 구조적 설계와 운영 방식 전반의 관점에서 재검토할 필요가 있음을 시사한다. 따라서 자격 취득 이후에도 교육, 평가, 경력 관리가 연계되는 지속적 전문성 관리 체계의 도입이 요구되며, 이를 통해 잠수사의 역량을 주기적으로 검증하고 직무 변화와 기술 발전에 대응할 수 있는 제도적 기반을 마련할 필요가 있다.

IV. 결 론

본 연구는 국내 산업잠수 교육 및 자격관리 체계를 국제적으로 통용되는 IMCA, ADCI, ADAS 기준과 비교·분석함으로써, 현행 국내 제도가 수중 작업 현장의 고위험성과 직무 특성을 충분히 반영하지 못하고 있음을 제도적 구조 차원에서 규명하였다. 특히, 국내 산업잠수 자격 체계는 자격의 영구성, 역할과 책임의 불명확한 구분, 그리고 자격 취득 이후의 관리·검증 및 갱신 체계의 부재라는 한계를 지니고 있으며, 이러한 구조적 특성은 산업잠수 사고 통계에서 반복적으로 확인되는 인적 요인 중심의 중대재해 발생 가능성을 제도적으로 증폭시키는 요인으로 작용할 가능성이 있음을 시사하였다.

IMCA, ADCI, ADAS 등 주요 국제 산업잠수 인증 체계는 교육 이수 여부 자체를 자격의 종착점으로 간주하지 않고, 실제 현장 운용 역량을 중심으로 자격의 효력을 관리한다. 이들 체계에서는 로그북 기반의 경력 검증, 주기적인 신체검사, 직무별 자격 유지 요건, 그리고 자격 갱신 및 재인증 절차를 통해 잠수사의 현재 시점에서의 신체적·기술적 적합성을 지속적으로 확인한다. 반면, 국내 자격 체계는 행정적 등급 구분에 주로 의존하고 있어, 작업 수심, 호흡 기체의 종류, 잠수 방식, 그리고 현장 내 책임 범위에 따른 직무 기반 역할 분화가 충분히 이루어지지 못하고 있음이 확인되었다.

이러한 차이는 단순한 제도 운영 방식의 상이

함을 넘어, 산업잠수 자격 제도가 현장 안전관리 체계의 핵심 요소로 기능하는지 여부를 가르는 본질적인 차이로 해석될 수 있다. 국제 기준에서 자격 제도는 잠수사의 역량을 지속적으로 검증·보증하는 안전관리 수단으로 설계된 반면, 국내 제도는 자격 취득 시점의 최소 요건 충족 여부를 확인하는 행정적 인증 수단에 머무르는 경향을 보인다.

종합하면, 국내 산업잠수 자격관리 체계는 국제 기준에 부합하는 역할 기반 자격 구조로의 전환, 감독관 중심의 현장 지휘·관리 체계의 제도적 명확화, 그리고 자격 갱신과 지속적 전문성 관리 체계의 도입을 통해, 자격 보유 여부 자체가 아닌 잠수사의 실제 운용 역량을 보증하는 방향으로 재정립될 필요성이 제기된다.

이러한 제도적 재검토와 개선 방향의 모색은 산업잠수사의 안전 확보에 기여할 뿐만 아니라, 국제 기준과의 제도적 정합성을 제고함으로써 국내 해양 산업 전반의 신뢰성과 지속 가능성을 강화하는 데에도 중요한 시사점을 제공할 것으로 판단된다.

References

- Association of Diving Contractors International(2011). International consensus standards for commercial diving and underwater operations (6th ed.). Association of Diving Contractors International.
- Australian Diver Accreditation Scheme(2024). ADAS training and assessment code of practice (Ver. 4.1). Australian Diver Accreditation Scheme.
- Choi S(2025). Three divers who died in their 60s during the line work of Hanjin Terminal did not comply with safety rules. Maeil Business Newspaper. Retrieved from <https://www.mk.co.kr/en/society/11381094> on January 3, 2026.
- Health and Safety Executive(2014). Diving at work regulations 1997: Approved code of practice and guidance (L103). Health and Safety Executive.
- Health and Safety Executive(2025). List of approved diving qualifications. Health and Safety Executive.
- International Marine Contractors Association(2014). International code of practice for offshore diving (D 014 Rev. 2). International Marine Contractors Association, London, U.K.
- International Marine Contractors Association(2016). Guidance on competence assurance and assessment (C 003). International Marine Contractors Association, London, U.K.
- Kang JH(2022). Causal analysis of fatal accidents in diving operations and development of safety measures: Focusing on official disaster investigation reports. Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency, Ulsan, Korea.
- Kim M, Cheon K, Kim Y, Kim T and Lee WD(2025a). A sustainable framework for planning and management of diving operations for underwater search and rescue in strong tidal current environments: Lessons from the Sewol ferry disaster. Sustainability, 17(24), 11073. <https://doi.org/10.3390/su172411073>
- Kim M, Kim S, Kim T, Kim Y and Lee WD(2025b). Daily planning and management of SCUBA diving operations considering tidal current conditions: A case study of the Sewol ferry disaster site. Journal of Coastal Disaster Prevention, 12(1), 37~53. <https://doi.org/10.20481/kscdp.2025.12.1.37>
- Kim M, Song M, Cheon K, Kim T and Lee WD(2025c). Operational strategies for ROVs in underwater search and rescue during large-scale marine disasters. Journal of Ocean Engineering and Technology, 39(4), 467~478. <https://doi.org/10.26748/KSOE.2025.039>
- Kim M, Song M, Park J and Lee WD(2025d). Applicability of integrated ROV-SCUBA operations in underwater search and rescue: A case study of the Sewol ferry disaster. Journal of the Korean Society of Safety, 40(6), 108~117. <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2025.40.6.108>
- Kim M, Song M, Park J, Kim S and Lee WD(2023). Estimation of underwater workable time considering tidal currents: A review of diving equipment. Journal of Coastal Research, 116(sp1), 433~437. <https://doi.org/10.2112/JCR-S1116-096.1>
- Korea Occupational Safety and Health Agency(2021).

- Guidelines for health management of diving workers (KOSHA GUIDE H-54-2021). Korea Occupational Safety and Health Agency.
- Lee WD(2020). A study on optimal nitrox for safe underwater works: Diving simulation-based assessments. *Journal of the Korean Society of Safety*, 35(1), 70~78.
<https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2020.35.1.70>
- Lee WD, Kim SG, Kim MH and Lee JH(2019). Air diving operation, management and planning for safe and effective underwater works. *Journal of the Korean Society of Safety*, 34(4), 103~110.
<https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2019.34.4.103>
- Lee WD, Kim Y, Kim T and Kim M(2025a). Surface-supplied diving system for underwater search and rescue operations at the Sewol ferry disaster site (Part I): Theoretical background and dive planning. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 37(2), 38~49.
<https://doi.org/10.9765/KSCOE.2025.37.2.38>
- Lee WD, Kim Y, Kim T and Kim M(2025b). Surface-supplied diving system for underwater search and rescue operations at the Sewol ferry disaster site (Part II): Applicability evaluation and operational management strategies. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 37(2), 50~59.
<https://doi.org/10.9765/KSCOE.2025.37.2.50>
- Lee WD, Kim Y, Kim T and Kim M(2025c). Depth-specific analysis of efficiency and workforce requirements in diving operations under no-decompression conditions. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 37(6), 247~262.
<https://doi.org/10.9765/KSCOE.2025.37.6.247>
- Lippmann J(2021). Fatalities involving divers using surface-supplied breathing apparatus in Australia, 1965 to 2019. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 51(1), 53~62.
<https://doi.org/10.28920/dhm51.1.53-62>
- Ministry of Employment and Labor(2020a). Standards for hyperbaric work (No. 2020-59). Ministry of Employment and Labor, Sejong, Korea.
- Ministry of Employment and Labor(2020b). Regulations on occupational safety and health standards (No. 273). Ministry of Employment and Labor, Sejong, Korea.
- National Competency Standards(2015). National competency standards: Industrial diving (NCS 14080502). Human Resources Development Service of Korea, Sejong, Korea.
- Park JY and Kang SY(2011). A study on the necessity of establishing domestic standards and safety criteria for diving systems. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 35(6), 856~860.
<https://doi.org/10.5916/jkosme.2011.35.6.856>
- Park SW and Yoon HS(2020). A case study on the fatal accidents of the commercial diving activity in Korea. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 32(5), 1081~1092.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.10.32.5.1081>
- Park SW, Kim WS and Yoon HS(2025). A study on the fatal accident cause of commercial diving activity in Korea: 2020-2024. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 35(2), 127~140.
<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2025.35.2.127>
- UK Government(1997). The Diving at Work Regulations 1997 (SI 1997/2776). The Stationery Office, London, U.K.
- Woods A(2022). A report on fatalities in commercial diving. Institute of Energy and Environmental Flows, University of Cambridge, Cambridge, U.K.

-
- Received : 09 June, 2026
 - Revised : 30 June, 2026
 - Accepted : 06 July, 2026