

우리 나라 산업잠수의 현황과 발전방안

김 도 현*

Commercial Diving in Korea - Present Condition and Development Scheme -

Do Hyun Kim *

Abstract

Fundamental resources such as man power, technique and purchasing power for equipments are not insufficient for the development of commercial diving in Korea, and potential power of diving personnel and basic skills are accumulated. Investment for equipments could be carried out at any time because that the construction market, related to underwater business such as harbour, breakwater, bridge, dam, pipe line, cable and etc., alongwith salvage business, are big enough, even though Korea has no working offshore oil field.

Nevertheless, immature social condition and lack of understanding such as improper field operation and management, insufficient regulations and standards could be the stumbling block for the development of commercial diving in Korea. Furthermore investments and supports from the Government, related authorities and contractors shall be required for the development.

In this thesis, the development process and technology in well developed countries and the present conditions with problems of commercial diving in Korea are investigated and analyzed, consequently the development scheme and method including guidance and standards for equipments, personnel and diving operations are proposed and discussed.

* 한국해양대학교 해양공학과

Further studies of training, management, qualification(including medical fitness) and etc. for the diving personnel, and of mixed-gas(saturation) diving shall be required in the near future.

1. 서론

우리 나라는 해양 국가임을 내세우면서도 해양 의식 수준과 사고방식, 나아가 구체적 정책, 제도 등과 관련 분야가 뒤떨어져 있다. 해양·수중 분야의 기술적인 면에서 볼 때에도 마찬가지이다. 본 논문은 수중기술 특히 산업잠수 부문에 제한하여 우리나라의 현황과 그 발전 방향에 대한 연구를 목적으로 한다.

현재 우리 나라 산업잠수업계는 공기 잠수(특히 SCUBA)에 대한 기초적인 지식과 기술은 비교적 많이 축적되었다고 볼 수 있지만, 표면공급식(Surface Supplied, Surface Demand) 잠수 장비와 감압실(Decompression Chamber)의 중요성에 대한 인식이 부족하고, 장비 보급률과 운용 부문의 기술 축적이 낮은 상태이다. 혼합기체(포화) 잠수 부문에 대한 기술축적은 1990년대 초반까지는 국내에서 거의 이루어지지 않았다. 단지 해군에서 혼합기체를 이용한 실험적 또는 훈련 목적의 비포화 잠수가 1970년대부터 간혹 이루어져왔다. 1980년대에 이르러 극소수의 민간인이 호기심 또는 필요에 의하여 외국에서 교육을 받고 현장을 경험한 정도였다. 따라서 범국가적 지원 및 투자를 통하여, 교육·직업훈련 기관 등과 모의 가압 훈련 시설(Hyperbaric & Simulation Training Facility)의 설립이 필요하고, 혼합기체·포화 잠수에 대한 기술 축적도 하여야 될 것이다.

앞서 언급한 기술 축적의 낮음도 문제이지만, 안전 의식 및 인식 부족 또한 산업잠수의 낙후성을 가져왔다. 이에 따라 업계에서는 아직도 장비나 인력에 대한 투자가 적을 뿐만 아니라 운용에 있어서 안전을 고려치 않는 사례가 자주 있다. 이 같은 현상은 관련 법규와 제도가 미흡하고 국가와 발주처들의 기준과 사양이 제대로 정립되어 있지 않기 때문이다. 본 논문에서는 이러한 기준과 사양을 제시한다. 또한 우리나라는 현재 원유를 생산중인 해양유전지대(Offshore - Oil Field)가 없기 때문에, 외국처럼 해양유전지대의 개발에 따른 관련 산업의 발달로 인한 산업잠수의 발전 효과를 기대하기 어려운 점도 발전 저해 요인중의 하나이다.

2. 잠수 기술

잠수 방법은 수심, 예상 잠수시간, 작업의 종류, 환경 조건, 가용 인력 및 장비 등에

의하여 결정된다. 일반적으로 잠수라 함은 사람이 수중에서 활동할 때, 그 수심의 압력(Ambient Pressure)에 직접 노출되는 행위(편의상 '직접 잠수'라 한다.)뿐만이 아닌 ROV(Remotely Operated Vehicle; 원격조정 무인 잠수장비), 일(1) 대기압 잠수장비(ADS, OMADS or One Atm. Diving Suit)와 유·무인 잠수정 등, 장비 자체의 압수도 포함된다.(김과 강, 1992b). 본 논문에서는 현 국내 산업잠수업계의 실정을 고려하여 사람의 직접 잠수와 ROV에 대하여 중점적으로 논하였다.

2.1 ROV (Remotely Operated Vehicle; 원격조정 무인 잠수장치)

1850년 8월 영국해협에 설치된 헤저케이בל 손상을 계기로 케이블을 해저에 묻을 수 있는 장비의 개발 필요성을 깨닫게 되었다. 1930년대 말에 Bottom Crawling/ Towed Vehicle의 기본적인 형태가 등장하고, 1960년대 초의 상당한 발전 이후 1975년경부터 해양유전업계의 발전과 함께 실용화되어, 다양한 수중작업을 가능케 하였다. Tethered, Free Swimming 형태가 가장 많고 널리 사용된다.

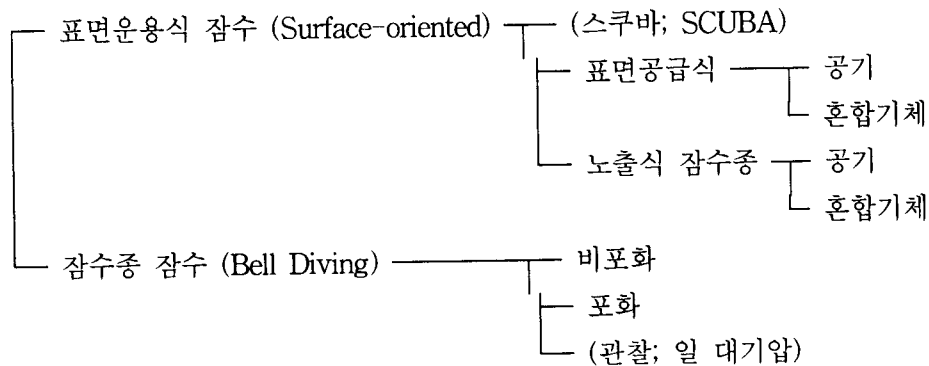
현재 우리 나라 산업잠수에서는 ROV를 충분히 활용치 못하고 있지만, 앞으로는 과감한 투자와 기술 축적이 필요할 것이다. 또한 ROV에 대하여 편협적이고도 국부적으로 소개된 경향이 있고, 심지어는 잠수사에 앞서 모든 수중 작업을 가능케 하는 만물상자로 이해되는 경우가 종종 있다. 또한 관련 인원의 양성이나 장비의 보급과 기술이전이 미흡한 실정이다.

2.2 잠수 방법 및 운용

사람이 주위 환경압(Ambient Pressure)과 같은 압력의 기체를 호흡 매체로 하여 입수하는(잠수하는 수심의 압력에 직접 노출되는) 직접 잠수 방법은 공기 잠수(Air Diving)와 혼합기체 잠수(Mixed-gas Diving)로 대별할 수 있다. 공기 잠수는 스쿠바(SCUBA; Self Contained Underwater Breathing Apparatus)와 표면공급식(Surface supplied 혹은 Surface demand) 장비로 운용할 수 있으며, 혼합기체 잠수는 비포화(Non saturation 혹은 Bounce) 잠수와 포화 잠수로 나눌 수 있다.

산업잠수에 있어서는 편의상 사용 장비와 운용 방법에 따라 표면운용식 잠수(Surface-oriented Diving)와 잠수종 잠수(Bell Diving)로 대별하고, 전자는 스쿠바, 표면공급식, 노출식 잠수종(Wet Bell) 잠수로, 후자는 운용 방법에 따라 비포화, 포화, 관찰(일 대기압) 잠수로 세분할 수 있다.(김과 강, 1992b).

- 산업(해양유전지대) 잠수 방법의 편의적 분류 -



3. 우리나라의 현실 및 발전 방안

현재 우리나라 민간의 산업잠수는 공기 잠수의 한계를 벗어나지 못하고 있으므로, 이를 위주로 국내 실정을 연구하고, 발전 방안을 제시코자 한다.

우리나라의 산업잠수업계는 영세하여, 안전과 효율성에 있어서 매우 취약하고, 연구·개발이나 투자가 제대로 이루어지지 않고 있다. 이는 사회적 인식·의식 수준이 낮으므로 관련 법규나 제도적 장치, 기준이나 표준화가 미흡하고 관련산업의 미 발달 때문인 것으로 사료된다. 또한 스포츠나 레저 잠수인들(Recreational Divers)이 일정 수준의 교육이나 경험 없이 무분별하게 산업잠수 분야에 참여코자 하는 것도 산업잠수 발달을 저해하는 한 요인으로 볼 수 있다. 왜냐하면 산업잠수는 육상과는 다른 주변 환경과 조건 아래에서 이루어지고, 작업 환경이 신체가 항상 압력을 받는 공기중이 아닌 바다와 내 수면의 수중이므로, 충분한 장비와 전문적 기술과 자격을 갖춘 인력을 필요로 하기 때문이다.

3.1 잠수 장비 및 운용

우리나라 산업잠수업계는 표면공급식 잠수에 대한 인식과 보급이 낮고, 스쿠바나 후카(Hookah)를 많이 사용하고 있다. 재래식 중량잠수기도 간혹 사용된다. 하지만 스쿠바는 원칙적으로 사용을 엄격히 제한토록 한다. 후카나 재래식 중량잠수기는 표면공급식이지만 사용되는 장비와 운용에 문제가 있다. 재래식 중량잠수기의 단점을 보완하여, 가볍고도 사용이 용이한 경량잠수기(헬멧; Light-weight Diving Helmet)와 밴드마스크(Band Mask)가 개발되었으며 산업잠수의 기본 장비이다. 또한 감압장치(감압실

또는 챔버; Deck Decompression or Recompression Chamber)의 보급과 사용이 시급하다.

3.2 잠수 인력과 인원 구성 (조직)

산업잠수에 종사하는 인력의 자격, 역할, 책임이나 능력 등은 매우 다양하여, 교육과 경험 수준에 따라 작업 성취도가 달라진다. 따라서 산업잠수사들은 잠수와 기술·작업 숙련도, 현장 경험 등을 기준으로 일정한 자격과 능력을 갖추어야 하고 해양작업 (Marine Operation)에 필요한 기본적 소양과 기능을 갖추고 있어야 하며, 다양한 장비와 공구 취급도 숙달되어야 한다. 또한 반드시 개인 잠수 기록부(Personal Dive Log)를 소지하여야 한다. 잠수 작업은 이같은 자격과 능력을 갖춘 구성원들로 이루어진 조직(Dive Team)에 의하여 진행된다.

현장 사정과 환경, 공정, 작업의 종류 등에 따라 투입 인원(조직)이 결정되겠지만, 일반적인 최소 잠수 인원 구성(One Diving Team)은 잠수(현장) 책임자(Diving Supervisor) 1 인, 잠수사(Diver) 1 인, 비상대기 잠수사(Stand by diver) 1 인, 잠수·보조원(Diver/Tender) 1 인과 같이 제시한다.

이같은 능력을 갖춘 인력 수급을 위하여 산업잠수와 관련된 교육 기관이 있어야 하지만, 현 국내 민간에는 적정 수준의 교육 기관이 없는 실정이다. 주로 현장 경험과 도

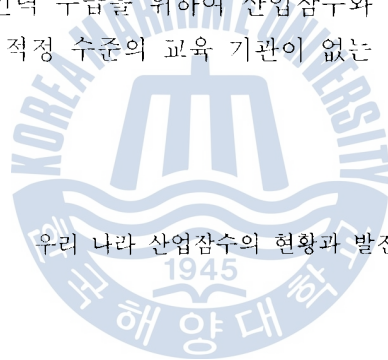


Table 4-1 Diving regulations compared (from Saxon, 1994; U.S. Navy, 1993).

Country Authority	Type of Diving	Depth Limit	Equipment Requirement
Australia	SCUBA	specific approval required	standard
	Surface Supplied Air	165 feet	standard decompression chamber required
Canada	SCUBA	66 feet	standard communications required
	Surface Supplied Air	165 feet	
Norway	SCUBA	not discussed - generally precluded	
	Surface Supplied Air Diving	165 feet, 262 feet in emergency conditions	deck decompression chamber required
United Kingdom	SCUBA	98.4 feet with efforts underway to prohibit	
	Surface Supplied Air	165 feet	decompression chamber required in excess of 33 feet if decompression time exceeds 20 minutes
	SCUBA	less than 130 feet greater than 130 feet	standard decompression chamber required

될 수 있는 일일 최대 허용 해저체류시간(Bottom Time Limits)을 국내 실정과 외국의 사례를 고려하여 제시한다(Table 4-2, 4. 토의, 4.3 참고).

3.4 관련 법규, 제도 및 기준(사양)

현재 우리 나라는 산업잠수에 관련된 법규, 제도, 기준(사양) 등이 매우 미흡한 상태이다. 이에 대한 연구와 보완이 시급히 이루어져야 할 것이다.

4. 토의

4.1 공기잠수의 안전 허용 한계 수심은?

- 50 msw (감압실과 표면공급식 잠수장비 사용시 기준; Table 4-1)

외국의 대다수 산업잠수업계와 관련된 기관, 단체들에서는 50 msw를 정상적인 공기잠수 작업 수심 한계로 정하고 있다. 현 국내 실정을 감안할 때, 공기 잠수의 안전 한계 수심은 50 msw로 함이 바람직하다.

4.2 현장에 감압실을 비치하여야 할 수심은? - 30 msw 이상의 잠수

현 국내 실정과 작업 환경(조석 등)을 고려 할 때, 2~4인의 잠수사가 효율적으로 주간에 수중 작업을 하기 위하여는 잠수사 1인당 30분~2시간(수심과 작업 성격에 따라 달라짐.)의 해저체류시간은 가져야할 것이다. 비감압 한계 이내의 해저체류시간(Refer to U.S. Navy No-Decompression Limits and Repetitive Group Designation Table for No-Decompression Air Dives)과 외국의 여러 기준들을 고려할 때, 우리 나라는 최소한 30 msw(100 feet) 이상의 잠수시에는 필히 감압실을 비치토록 한다.

4.3 수심에 따른 최대 허용 해저체류시간의 결정 방법과 이유는?

영국을 제외한 여러 나라에서는 잔여질소(Residual Nitrogen)량을 나타내는 반복기호군(Repetitive Group)에서 "O" Group이 처음으로 지정되는(First "O" Group Designation) 해저체류시간을 택하고 있다(AODC, 1994; Aquatec, 1996). 영국(DOE→HSE)에서는 이보다 짧은 해저체류시간을 허용한다. 참고로 폐쇄식 잠수종(Closed Diving Bell)을 이용하여 수중에서의 마지막 감압정지점과 같은 압력을 유지한 채, 감압실로 이동하여 표면감압하는 경우(TUP; Transfer Under Pressure)에는 보다 긴 해저체류시간을 허용한다.(DOE, 1990).

70	21.3	110	110	90	180	ditto
80	24.3	110	110	70	180	ditto
90	27.4	90	90	60	130	ditto
100	30.4	60	70	50	110	1st "O" Group & Etc. *2)
110	33.1	60	70	40	95	2 Water Stop (last)

Table 4-1 Diving regulations compared (from Saxon, 1994; U.S. Navy, 1993).

Country Authority	Type of Diving	Depth Limit	Equipment Requirement
Australia	SCUBA	specific approval required	standard
	Surface Supplied Air	165 feet	standard decompression chamber required
Canada	SCUBA	66 feet	standard communications required
	Surface Supplied Air	165 feet	
Norway	SCUBA	not discussed - generally precluded	
	Surface Supplied Air Diving	165 feet. 262 feet in emergency conditions	deck decompression chamber required
United Kingdom	SCUBA	98.4 feet with efforts underway to prohibit	
	Surface Supplied Air	165 feet	decompression chamber required in excess of 33 feet if decompression time exceeds 20 minutes
United States	SCUBA	less than 130 feet greater than 130 feet	standard decompression chamber required
	Surface Supplied Air	220 feet with bottom time less than 30 minutes	decompression chamber required deeper than 100 feet bell required for any dive with in water decompression times in excess of 120 minutes
U.S. Navy	Surface Supplied Air	190 feet, normal working 285 feet, max. working	double lock recompression chamber is required on site for dives deeper than 130 feet

본 논문에서는 First "O" Group과 영국 기준의 중간적 형태로 제시한다. 100 feet 까지의 잠수는 First "O" Group을 택하였다. 100~130 feet는 두 감압정지점(Decompression Stop)을 요하는 해저체류시간중 긴 시간을 택하였다. 130~170 feet는

산업잠수의 특성을 고려하여 세 감압정지점을 요하는 해저체류시간중 짧은 시간을 택하였다(Table 4-2).

4.4 기본적 구비 잠수 장비는? (업체, 현장 및 조직 기준 고려; Table 4-3)

현장(환경) 사정에 따라 조정될 수 있지만 최소한의 장비 규모를 제시한다.

Table 4-2 Comparison of bottom time limits.

(수심에 따른 최대 허용 해저체류시간 비교)

수 심		최대 허용 해저 체류 시간 (분)	1st "O" Group	영국 (DOE)		비 고 (결정 기준, 근거)
피트(Feet)	미터(Meters)			Sur D & In Water	TUP	
0 ~ 40	0 ~ 12.1	180	250	240	240	1일 수중체류시간 *1)
50	15.2	180	180	180	240	1st "O" Group
60	18.2	140	140	120	180	ditto
70	21.3	110	110	90	180	ditto
80	24.3	110	110	70	180	ditto
90	27.4	90	90	60	130	ditto
100	30.4	60	70	50	110	1st "O" Group & Etc. *2)
110	33.1	60	70	40	95	2 Water Stop (last)
120	36.5	50	60	35	85	ditto
130	39.6	40	50	30	75	ditto
140	42.6	40	50	30	65	3 Water Stop (1st)
150	45.7	40	50	25	60	ditto
160	48.7	30	40	25	55	ditto
170	51.8	25	40	20	50	ditto

*1) 일반적으로 포화잠수에서 한 잠수사의 1일(1회) Lock-out 시간을 180~240분 이내로 규정하고 있다(Stolt Comex Seaway S.A., 1993). 이는 잠수사의 1회 수중 체류 최대 허용 시간으로 볼 수 있다.

*2) 현장이나 선입감에 따라 30 msw는 중요한 기준 수심이므로, 70분이 아닌 60분

으로 정한다.

Table 4-3 Minimum required diving equipments of diving contractor.

구분	장 비	사 양 및 설 명	비 고 (용도 등 토의)
DDC Sys.	DDC (감압실)	Double-Lock with Service Lock, Overboard Dump Oxygen Bibs	165 feet(50 msw, 6 bar) 이상 가압이 가능하고, 두 명이 편안히 누울 수 있는 크기 이상.
	H.P. Air Storage Bank	with Regulator	주 공기 공급원으로 사용(특히 LP Comp. 없을시). 공간을 적게 점유하고, 가압이 빠름.
	Oxygen Bottles	별도 보관	표면감압
	Distribution & Control Panel		주, 보조 기체 공급원이 구분될 것
공기 압축기	H.P. Air Compressor	15 cfm 이상	주 공기 공급원
	H.P. Air Compressor	5 cfm 내외	보조 공기 공급원
	L.P. Air Compressor	with Volume Tank	주 공기 공급원으로도 사용될 수 있으나, 적정 용량과 충분한 Volume Tank를 갖춰야 한다.
표면 공급식	Band Mask a/o Helmet	3 조 이상	
	Dive Control / Comm. Box	2 조 이상	주·보조 공기 공급 변환이 용이 하되, 비상대기 잠수사 공기 공급은 별도 구성되어야 함.
	Umbilical	3 조 이상	작업 수심과 환경에 맞춰 적당한 길이로 할 것. 공기공급호스, 수심호스, 동화선으로 구성되며, 필요시 Hot Water Hose, 다목적 케이블, 안전선 등 추가.
	Safety Harness	3 조 이상	
	Bail-out	3 조 이상	약 50 cf Tank w/1st stg. Regulator
스쿠바	Air Tank	3 조 이상	약 80 cf
	Regulator	3 조 이상	잔압계, 수심계, 나침반 등 부착형
	Buoyancy Device		필요시
개인 장구	Dry Suit, Wet Suit, Weights Belts, Fins, Mask, Knife, Diving Watch, 기타 등		각 개인에 적합한 장구를 각 개인이 관리하며, 항시 사용 가능한 상태로 준비하여 둔다.

5. 결 론

현재까지 우리 나라 산업잠수는 공기 잠수에 국한되어 왔으며, 잠재력은 있지만 충분히 활용치 못하고, 사회적 여건·환경 등이 발전의 장애가 되고 있다.

공기 잠수에 있어서는 표면공급식 장비, 감압실 사용 등의 운용 체계를 갖추어야 한다. 또한 전문적 기술과 자격을 갖춘 인력이 산업 현장에 종사할 수 있는 환경이 조성되고, 수중 환경이라는 특수성을 인지하여 안전하고도 효율적인 잠수 운용이 되어야 한다. 이같은 종사자들은 잠수 자체의 안전 외에도 해양(수상)에서 필요한 전반적인 기능을 갖추어, 산업잠수 현장에서 안전관리가 생활화될 수 있도록 한다. 본 논문에서 설정한 인원·장비와 운용 등의 기준들은 국내에서는 처음으로 외국 사례와 국내 실정을 감안하여 문서로 작성되었으므로 다소간의 이견이 있을 수 있지만, 기본적으로 이러한 기준을 따르되 현장에 맞게끔 응용할 수 있을 것이다.

혼합기체 (포화) 잠수는 현재 민간업체 자체적으로는 능력을 갖추고있지 못하므로, 정부나 관련기관(장비를 보유하고 있는 해양경찰, 해군 포함)에서 투자와 기술 이전을 주도하고, 학계와 업체 공동으로 기술 축적을 이루어야 한다. 아울러 국내 관련 업체의 투자도 검토되어야 할 것이다. 왜냐하면 기술 축적은 물론 외국 하도급업체와의 계약을 배제함으로써 외화 절약과 부가 가치를 높일 수 있기 때문이다.

우리 나라 산업잠수는 외국의 선진 해양국가들에 비하여 상당히 뒤져있다. 근본적으로, 해양·수중에 대한 의식 수준과 사고방식(인식)이 정립되어 있지 않고, 미흡한 관련 법규, 제도 및 기준 등이 발전을 저해하는 요인들이다. 그 예로써, 전문적인 해양·수중 관련 분야의 사업에 대한 발주 기준이나 방법이 명확치 않고, 표준품셈의 인원, 장비 기준이 매우 미흡하다. 또한 전문건설업 - 수중공사업 면허기준이 낮아 기술력과 인원·장비를 제대로 갖추지 못한 영세업체의 양산을 초래하였다. 선박구난업 자격기준은 현실적이지 못한 점이 있다. 따라서 인원, 장비, 자재 등에 대한 적합한 투자가 제대로 이루어지지 않고 있다. 정부나 관련기관, 발주자들이 새로운 인식과 충분한 지식을 갖추어야 하며, 업체와 관련 종사자들 모두의 많은 노력도 필요하다.

관련 산업(특히 해양유전 관련 분야; Offshore Industry)의 미 발달 또한 발전 저해 요인이 되고있다. 국내 해양 유전은 없지만 해저 케이블, 파이프라인, 심해 해난구조 (유류 방제·이적 작업 포함) 등 해양 관련 사업의 필요성과 중요성이 점차 높아지고 있으므로 이 분야의 개발에 관심을 기울여 적절한 투자를 해야 할 것이다.

본 논문에서 제시한 향후의 과제들 - 인원·교육 관리, 법규·제도와 기준의 보완 등 - 에 대한 연구도 하루 빨리 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- AODC(Association of Diving Contractors), 1994. Consensus Standards for Commercial Diving Operations, Association of Diving Contractors Inc.
- Bartholomew, C.A., 1990. Mud, Muscle, and Miracles : Marine Salvage in the United States Navy. A joint publication of the Naval Historical Center and Naval Systems Command, Department of the Navy.
- Bennett, P.B., and Elliott, D.H., 1982. The Physiology and Medicine of Diving, Best Publishing Co.
- Davis, R.H., 1995. Deep Diving and Submarine Operation : A Manual for Deep Sea Divers and Compressed Air Workers, 9th ed., Siebe, Gorman & Company Ltd.
- DOE(Department of Energy), 1990. "Exposure Limits for Air Diving Operations", Annex to DSM 2/1990, Department of Energy, U.K.
- KOCECO(Korea Ocean Engineering & Consultants Co., Ltd.), 1997. Report for 300MW HVDC Link between Haenam and Cheju Do, KOCECO.
- Marine Technology Society, 1984. Operational Guidelines for Remotely Operated Vehicles, MTS.
- Saxon, R.E., 1994. "Developing International Consensus Standards for the Conduct of Commercial Diving Operations by a Non Profit Industry Trade Association", California Coast University.
- Sisman, D., 1982. The Professional Diver's Handbook, Submex Ltd.
- U.S. Navy, 1993. Diving Manual, Vol. 1 : Air Diving, Rev. 3, U.S. Government Printing Office.
- U.S. Navy, 1996. Diving Manual, Vol. 2 : Mixed Gas Diving, Rev. 3, U.S. Government Printing Office.
- 김도현과 강신영, 1992a. "산업 잠수 기술의 발달", Bull. Res. Inst. Mar. Sci. & Tech. Korea Maritime University, Vol. 1, No. 1. p31-46.
- 김도현과 강신영, 1992b. "잠수방법 및 장비에 따른 잠수허용 한계수심", Underwater Technology, The Proceeding of the 1992 International Ocean Space & Resources Utilization Seminar and the 29th Ocean Engineering Research Workshop, p29-37.

