

고압산소 챔버의 자동화 시스템 개발

채재익¹ · 정현우² · 강신영[†]

(Received March 9, 2018 ; Revised March 30, 2018 ; Accepted April 10, 2018)

Development of an automated system for hyperbaric chambers

Jae-Ik Chae¹ · Hyun-Woo Jeong² · Sin-Young Kang[†]

요약: 고압산소 챔버는 대기압보다 높은 압력 상태의 밀폐된 공간에서 환자를 치료하는 의료기기이다. 국내에서 현재 운용 중인 고압산소 챔버의 대부분은 수동 방식인데, 최근 들어 챔버 운영 효율과 안전성을 높이기 위해 자동화에 대한 요구가 크게 증가하고 있다. 본 연구의 목적은 고압산소 챔버 자동화 설계 기술 확보이다. 이를 위해, 먼저 잠수 치료표를 검토하여 자동화 기능을 선정한 다음, 각종 제어 기술 검토를 거쳐 적정 제어 위치를 선정하여, 이를 수동 방식과 동시에 이용이 가능하도록 설계하였다. 본 연구의 결과는 이미 제품 생산에 일부 반영되고 있으며, 현재 수요자의 요구에 따라 수동제어 모델, 원격제어 모델, 자동화 시스템 제작이 가능하다.

주제어: 의료용 챔버, 고압산소 챔버, 고압산소 치료, 자동화 시스템, 챔버 설계

Abstract: The hyperbaric chamber is a medical device that treats patients in a closed space with elevated pressure higher than atmospheric pressure. While most of the domestic hyperbaric chambers are currently operated manually, the demand for automation is recently increasing greatly to improve the efficiency and safety feature of the chamber operation. This study aims to develop the design capability of an automated hyperbaric chamber system. To achieve this goal, the recompression treatment tables are first examined, and automation functions are selected. With the investigation of various control technologies, appropriate control positions are decided, and the automated functions are synchronized with the manual operation. The outcomes of this study have already been partially implemented in chamber design. The manual control model, remote control model, and automation systems can now be made according to the buyer's request.

Keywords: Medical chamber, Hyperbaric chamber, Hyperbaric oxygen therapy, Automated system, Chamber design

1. 서론

의료용 챔버(medical chamber)는 의료기기 품목 및 품목별 등급에 관한 규정[1]에 의하면 사용 목적에 따라 고압산소 챔버(hyperbaric chamber), 경피산소 챔버(patient chamber, extremities), 복부감압 챔버(hypobaric chamber, abdominal), 환자격리 챔버(patient chamber, isolation)의 4가지로 구분하고 있다. 이 중 의료용 고압산소 챔버는 대기압보다 높은 압력으로 산소를 가하여 환자의 조직으로 산소를 전달하는 기구이다.

고압산소 챔버는 연탄을 주 난방수단으로 사용하던 1960년대에 연탄가스 중독 치료를 목적으로 주로 소형의 저압(2기압 이내)이 사용되었으나, 1980년 이후 난방 수단이 석유와 전기로 바뀌면서 점점 사라져갔으며, 몇몇 의료기관에서만 잠수병 치료에 국한하여 사용하여 왔다. 그러다 천

안함 사건(2010년)과 세월호 사고(2014년)를 겪으면서 과도한 잠수작업으로 인한 잠수사들의 잠수병 발현이 큰 사회적인 문제로 대두되어 잠수병 치료에 대한 관심이 매우 높아졌고, 이후 삼천포(2013년), 통영(2015년), 강릉(2015년), 홍성(2016년), 원주(2016년), 제주(2017년), 부산(2017년)에서 고압산소치료센터들이 설립되어 전문적인 치료가 실시되고 있다. 현재 사용되고 있는 챔버들은 대부분 대형의 고압(5기압 이내)으로 잠수병 치료 외에도 스포츠 재활, 면역 조절, 항암 보조요법, 만성피로와 간기능 개선 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

고압산소 챔버는 환자를 수용할 수 있는 본체, 관찰용 창, 송기계통, 배기계통, 환기계통, 안전 밸브, 압력계, 장치내 환경감시장치, 전화 및 통신계 등으로 구성된다. 전 세계적으로 이 분야는 국제적인 기준이 정립되어 있고, 이 기준을

† Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7726-9946>): Department of Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: sykang@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4323

1 Interocean Co. Ltd., E-mail: chae@interocean.co.kr, Tel: 051-622-5665

2 Interocean Co. Ltd., E-mail: hwjeong@chollian.net, Tel: 051-622-5665

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

따라 고압산소 챔버들이 생산되고 있다. 국제적으로 통용되고 있는 주요 기준으로 DIN EN 14931[2], NEPA 99[3], JIS T 7321[4], AS 4774.2-2002[5], SAE ARP 1398A[6], UFC 4-159-01N[7] 등이 있다. 국내에서도 고압산소 치료장치의 기준 규격을 국가표준으로 제정하고 있다[8].

한편 의료용 챔버와 관련된 국내 연구를 살펴보면, K. J. Kim [9]은 잠수 및 고압의학 분야에서 고압산소 치료의 적용범위를 소개하였고, K. C. Nam [10]은 의료용 챔버의 기준규격을 개발하였으며, K. C. Nam *et al.* [11]은 고압산소 챔버의 성능 및 안전성 시험방법을 개발하였다. 그리고 M. G. Cho and H. S. Choi [12]는 환자의 냉증 정도에 맞게 산소압과 치료시간을 조정할 수 있는 산소챔버 시스템을 설계하였다. 그리고 해군 해양의료원은 국내 감압병 환자후송 및 응급의료체계 구축을 위해 챔버 운용 현황 조사를 실시하였는데, 2011년 당시 산업잠수용 챔버를 포함한 2기압 이상의 고압챔버는 59개 기관에서 총 71기를 보유하고 있는 것으로 조사되었고, 이들 중 의료용 고압산소 챔버는 38기인 것으로 파악되었다[13]. 따라서 최근에 제작된 챔버의 수를 더하더라도 국내에서 가동 중인 의료용 고압산소 챔버는 총 50기가 되지 않을 것으로 파악되고 있다.

그런데 이들 챔버는 대부분 수동으로 작동되는 방식이기 때문에 정형화된 치료 및 치료된 기록의 저장 등이 불가능하며, 운용 측면에서 매우 비효율적이다. 따라서 최근 들어 챔버 시스템의 자동화에 대한 요구가 크게 증가되고 있는데, 본 연구는 이러한 필요성에 따라 기존의 수동식 운용 방식을 자동화 방식으로 전환하는 과정의 일환이다.

본 연구 결과는 국내의 기 제작된 수동 운용 방식에 적용되어 잠수병 치료 효율 증대에 기여할 수 있을 것이며, 국내의 챔버 설계 기술력을 한층 더 높일 수 있을 것으로 전망된다. 또한 산업잠수용 기압조절실에 본 연구 결과를 적용시켜 향후 잠수사의 안전 확보와 기압조절실 시장 형성에도 기여할 수 있을 것이다.

2. 챔버 자동화 설계

본 연구에서 챔버 자동화를 위해 우선 현재 사용되고 있는 잠수 치료표들을 분석하여 자동화에 필요한 기능들을 선정하였고, 그 결과를 바탕으로 자동화 시스템의 설계 및 제품 생산에 필요한 적용가능한 기술들을 검토하였다. 주요 연구 진행 과정은 1) 잠수 치료표 검토, 2) 자동화 기능 선정, 3) 동시 이용 시스템 설계, 4) 제어 방식 설계, 5) 안전 기능 자동화 기술 검토 등이다.

2.1 잠수 치료표 검토

잠수 치료표는 국가 또는 기관에 따라 다양한 프로파일들이 사용되고 있다[14]. 미 해군은 포화잠수 치료표와 공기 치료표를 포함하여 14종, 영국 해군이 10종, 프랑스 해군이 15종, 그리고 민간회사인 Comex가 6종을 사용하고 있으며, 독일, 러시아도 독자적인 치료표가 있다. 잠수사의 증

상 또는 치료 목적에 따라 특정 치료표가 정해지는데, **Figure 1**은 미 해군에서 사용하는 제1형 감압병 증상이 발현하였을 경우 치료표를 결정하는 방식이다.

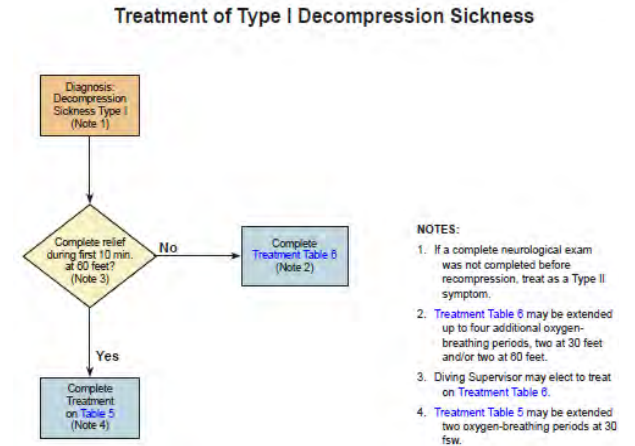


Figure 1: Treatment of Type I DCS

현재 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 미 해군 치료표의 경우 Type I DCS에는 치료표 5(Figure 2)가, 그리고 Type II DCS는 치료표 6(Figure 3)이 주로 사용된다. 본 연구에서는 이 잠수 치료표들을 세부적으로 분석하여 최대가압 및 감압속도, 유지구간, 호흡기체의 변환구간을 변수로 정하였다. 그리고 치료표 5를 기본으로 하고, 이 변수들을 터치스크린 그래프 또는 키보드로 입력하여 다양한 치료표로 수정할 수 있도록 구현하였다. 또한 비상 정지 시에는 현재 수심 유지 기능과 실제 진행된 치료 그래프와 시간, 치료 환자의 인적사항과 함께 주요 자료들을 자동 저장하는 기능이 추가되었다.

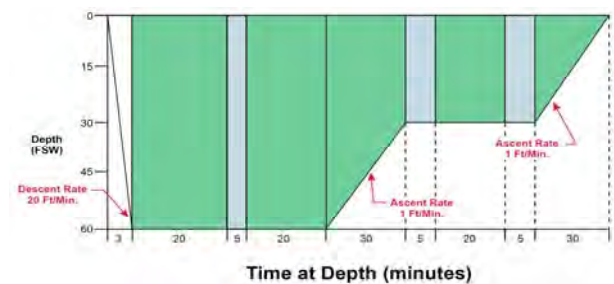


Figure 2: Depth/Time profile of Treatment Table 5 [15]

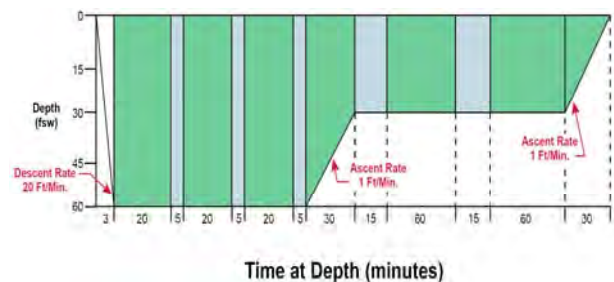


Figure 3: Depth/Time profile of Treatment Table 6 [15]

2.2 자동화 기능 선정

위의 분석을 바탕으로 주요 자동화 기능으로 잠수 치료 표의 프로파일이 입력된 다음 이를 물리적으로 제어하기 위한 챔버의 압력 변화를 측정할 수 있는 센서들 및 그것과 연동하는 밸브 조작을 선정하였고, 치료표의 입출력과 사용자 정의 프로그램의 입출력 장치를 보조 기능으로 선정하였다. 그리고 모든 입출력 신호는 PC와 통신하여 저장되고 제어되도록 하였다. 자동화 기능을 간략하게 표시하면 Figure 4와 같다.

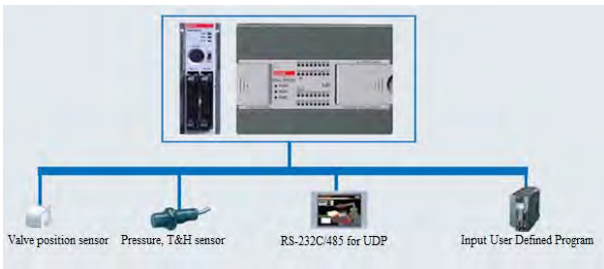


Figure 4: Selection of automation control

2.3 동시이용 시스템 설계

챔버 시스템에서 송기계통, 배기계통 및 환기계통은 동시에 이용할 수 있도록 각각의 수동제어 밸브와 자동제어 밸브를 병렬로 연결하여 작동시킨다. 수동제어 밸브는 직접 손으로 조작할 수 있고, 자동제어 밸브는 공압 구동방식으로 작동된다.

챔버의 가압제어(Figure 5)는 공기압축기를 이용하여 압축된 공기로 고압 공기저장장치와 기체압력조절 패널을 통해 챔버보다 높은 압력을 유지시켜 공기공급계통을 만든 다음, 기체압력조절 패널을 통해 일정한 압력으로 공급된 공기로 챔버조절 콘솔의 밸브 등을 수동 및 PC에 의해 조작하여 챔버로 송기하는 구조이다.

챔버의 내부 압력은 압력 센서와 밸브위치 센서 등의 정보를 RS-232C/485 통신 포트를 통해 PC로 전달되고, 이 정보에 의해 밸브의 열림과 닫힘이 판단되며, 챔버와 연결된 눈으로 볼 수 있는 정밀 압력계(pneumo-gauge)에 의해 수동으로 밸브의 구동이 제어된다.

챔버의 감압제어(Figure 6)는 챔버의 배기포트와 직접 연결된 밸브로 구성되며, 유량 및 압력 센서와 밸브위치 센서 등의 정보를 PC에 전달하여 밸브의 열림 및 닫힘 정도를 판단하는 조작이다. 조작은 앞서 설명한 가압제어와 같은 방식으로 정밀 압력계를 보며 수동으로 밸브를 제어한다.

한편 공압은 솔레노이드 밸브와 방향전환 밸브가 병렬로 연결되어 제어되는데, 솔레노이드 밸브는 PC 신호에 의해 작동되고, 방향전환 밸브는 손으로 작동된다. 이들의 조합으로 수동으로 사용하는 도중에도 자동화 시스템으로 전환이 가능하며, 자동화 시스템을 사용하는 도중에도 수동으로 전환이 가능하다.

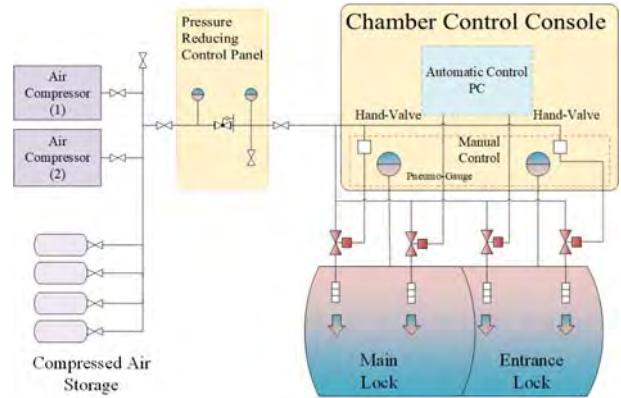


Figure 5: Dual control system (compression)

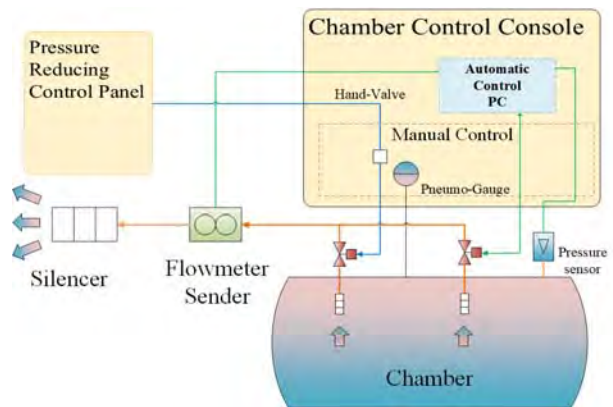


Figure 6: Dual control system (decompression)

2.4 제어 방식 설계

자동화 시스템의 제어 방식은 PC와 장치 등을 연결하는 입출력부, 장치 조작 프로그램을 기록 저장하는 기억부, PC의 기능 향상을 위한 주변기기 등으로 구성된다. 자동화 시스템의 전체 구성도가 Figure 7에 나와 있다.

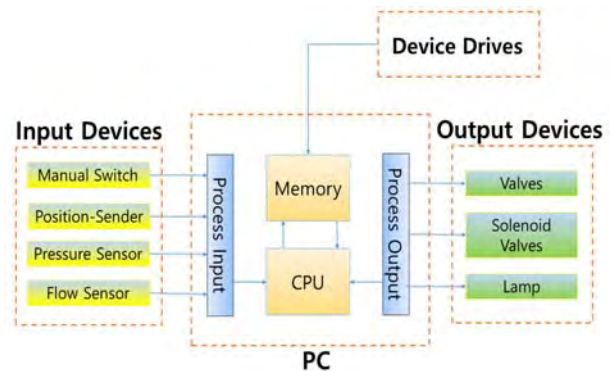


Figure 7: System automation diagram

이 방식의 입력부에는 밸브위치 센서, 압력 센서, 유량 센서 등이 연결되고 또한 수동으로 조작할 수 있도록 밸브 수동조작 스위치가 연결된다. 모든 입력부의 정보는 프로그래밍된 마이크로프로세서를 통해 메모리에 쓰기 및 읽기

를 하여 출력부를 제어한다. 한편 출력부에는 밸브 및 솔레노이드를 연결하고 램프 등이 연결된다. 그리고 메모리의 정보와 프로그램은 주변장치와 연결되어 저장 및 수정을 할 수 있게 한다. 입력출력부(Process Input Output)에 연결된 장치는 Table 1과 같다.

Table 1: Connecting devices for PC Process Input/Output

Type	Function	Position	Device
Input process	Manual input control	Control console panel	Push button switch
			Selection switch
			Toggle switch
	Sensor input	Chamber	Pressure sensor Valve Position sensor
Output process	Operation output	Compressed air supply system	Solenoid Valve
		Exhaust system	
		Ventilation system	
	Display information output	Control console	Lamp Buzzer Monitor

한편 프로그램은 송기계통, 환기계통, 배기계통으로 구분하여 가압속도 제어, 압력유지 제어, 감압속도 제어로 설계하고 또한 수동으로 간섭할 수 있도록 한다. 또 입력 및 출력 정보를 저장할 수 있게 한다.

2.5 안전 기능 자동화 기술

챔버는 사용압력 및 설정 압력 이내에서 운용되어야 한다. 따라서 압력의 변화를 측정하는 압력 센서의 정밀함과 신뢰성 보장이 아주 중요하다. 그래서 압력 센서의 정기적인 교정과 설치 시 노이즈 제거, 정전기에 대한 보호 조치를 1차적으로 실시해야 한다.

1개의 압력 센서에서 얻을 수 있는 정보의 신뢰보다 2개 이상에서 얻을 수 있는 정보의 신뢰는 크기 때문에 안전성 확보를 위해 압력 센서의 이중화 기술을 사용한다.

챔버의 송기계통 배관과 배기계통 배관에는 신속히 작동하는 공압구동 밸브를 챔버 가까이 연결하여 전기신호에 따라 작동되는 솔레노이드 밸브로 동작시킨다. 물론 수동 조작 밸브로도 동작시킬 수 있다. 그리고 프로그램에 의해 가압/감압의 속도를 넘었을 경우 PC는 전기적 신호를 솔레노이드 밸브에 전달하여 송기 및 배기를 차단하며, 챔버의 설정 압력에 도달하였을 경우에도 송기를 차단한다.

챔버의 내부는 대기보다 산소의 분압이 상당히 높으므로 화재 발생의 확률이 항상 높다. 화재 진압은 챔버의 압력보다 높게 설정된 소화수 저장 탱크의 압력을 유지하고 정기적인 화재진압의 동작을 하여 만일에 대비한다. Figure 8

과 같이 화재진압 과정을 설계한다.

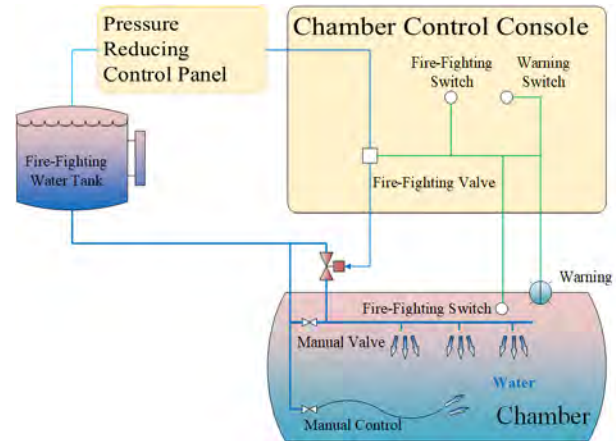


Figure 8: Fire suppression control

3. 단계별 기술 적용 현황

3.1 수동 제어 모델

조종 콘솔에 직접 수동 밸브를 연결하여 가압과 감압 및 압력유지를 하는 초기 모델이다(Figure 9). 조종 콘솔에는 챔버의 압력 변화를 나타내는 정밀한 압력계와 챔버 송기계통에 연결되어 유량을 조절할 수 있는 가압 밸브와 배기계통에 연결되어 유량을 조절할 수 있는 감압 밸브 등이 있다.

이 모델은 환자 감시를 할 수 있는 CCTV와 통신기가 있으며, 챔버의 환경을 기록할 수 있도록 압력, 산소 농도, 이산화탄소 분압, 온도 및 습도 센서 등의 표시 및 저장 장치가 있고, 챔버의 내부 압력을 직접 확인할 수 있도록 아날로그 방식 정밀 압력계가 부착되어 있다.

이 방식에서 운용자는 제시된 치료표를 보고, 챔버의 압력 변화를 압력계로 읽은 다음, 밸브의 열림 정도를 조작하여 가압 속도를 제어한다. 물론 내부의 환기가 이상이 있을 경우(챔버 내부와 연결된 통신기 및 CCTV 등으로 확인) 작동을 멈출 수 있으며, 내부 보조자에 의해서도 조치가 가능하다. 그런데 이 방식은 치료표에 따라 일정 압력을 유지하기 위해 운용자가 지속적으로 압력계를 보면서 밸브를 조작해야 하며, 주기적으로 환기 밸브를 작동시켜 챔버 내부 공기를 환기시켜야 한다.



Figure 9: Manual control model

이 방식의 챔버 운용자는 챔버를 직접 통제하여 환자의 상태에 따라 가압 및 감압을 제어할 수 있다. 그러나 챔버로부터 오는 정보를 지속적으로 감시해야 하고, 밸브의 작동 시간을 수기로 기록해야 하는 불편을 감수해야 한다.

3.2 원격제어 모델

챔버의 크기가 클수록 제어하는 밸브와 배관의 크기가 따라서 커지게 되는데, 이를 제어하는 공압 구동 제어 밸브를 챔버에 직접 설치하여 공압 제어를 조종 콘솔에서 하는 모델이다. CCTV 및 통신기, 챔버 환경 기록 장치, 정밀 압력계 등은 수동제어 모델과 같이 조정 콘솔에 부착되어 있다. 이 방식의 가압과 감압을 세부적으로 조작하는 밸브에는 핸드 밸브를 설치하고 비상정지를 위한 밸브에는 기계식 밸브를 설치한다. **Figure 10**은 원격제어의 실제 모델이다.



Figure 10: Remote control system

챔버의 운용은 수동제어 방식과 다른 점이 없으며, 다만 가압 중 차단 및 감압 중 차단 등 안전제어 부분을 즉시 실행할 수 있고, 운영자가 챔버 설정 압력을 인지 못하더라도 기계식 밸브에 의해 차단할 수 있다. 다만 이 방식은 별도의 공압 배관을 설계해야 하며, 운용자는 운용 중 지속적으로 챔버 운용을 관리해야 하는 단점이 여전히 남아 있다.

3.3 자동제어 시스템

이 방식은 PC로 제어하는 프로그램에 따라 가압과 감압 및 압력 유지 등을 조종하고, 프로그램 사이에 임의로 들어가 수동으로 통제를 할 수 있는 자동제어 시스템이다. **Figure 11**은 이 방식을 사용하는 실제 모델로 2.3절의 동시이용 시스템으로 설계되었다.

이 방식에서 가압 및 감압 밸브는 기존의 방식보다 더욱 정밀하게 조작할 수 있는 밸브를 사용하고, 동작은 솔레노이드 밸브와 원격으로 조작할 수 있는 핸드 밸브를 병렬로 연결하여 동시이용이 가능하도록 하였다. 그리고 비상정지를 위한 on-off 밸브의 작동을 솔레노이드 밸브와 기계식 밸브를 직렬로 연결하여 사용한다. 이 방식은 조정 콘솔과 별도로 챔버 외벽에 수동으로 조작할 수 있는 밸브를 설치하여 가압 및 감압을 제어할 수 있다.



Figure 11: Automatic control system

이 방식의 챔버 운용은 PC의 프로그램에 따르며 운용자는 실제 치료표와 비교하여 이상 유무에 따라 재빨리 수동으로 전환하여 운용할 수 있다. 또한 환자의 개별 기록(적용 치료표)을 상시 저장 및 열람을 할 수 있다.

3.4 AI 자동제어 시스템(개발 중)

수동제어 방식에서 챔버 운용자의 조작 패턴을 실시간으로 분석하면 **Figure 12**와 같이 구성할 수 있다. 운용자는 이 패턴에 의해 밸브의 작동과 치료의 중단 또는 치료표의 다른 선택을 할 수 있는데, 이 패턴에 따라 점검하고 가압 및 감압 등 밸브를 제어하면 AI(Artificial Intelligence) 자동제어 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

4. 향후 개선점

본 연구의 설계에 의한 결과를 시제품에 반영하여 시험하는 과정에서 몇 가지 문제점이 나타났다. 우선 밸브 반응 속도에 따라 가압에서 정지할 때의 시간 간격이 늘어지는 현상과 수심이 낮아질 때(약 20 피트에서 수면으로) 감압속도가 유지되지 않는 현상이다. 이것은 유동 마찰과 밸브 손실과 같은 관로 손실로 인해 배기되는 양이 작아져서 생기는 현상으로 보이며, 향후 이에 따른 조치로 배관을 1개 더 증설하거나 관직경을 크게 하는 등의 밸브 제어 방식이 보완되어야 할 것이다.

또한 인체를 다루는 의료기기인 만큼 정밀도에 대한 연구가 병행되어야 할 필요가 있는데, 특히 치료표의 허용 오차 범위에 대한 연구와 수심 및 시간 오차에 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 수동 방식의 의료용 고압산소 챔버를 자동으로 운용되도록 하는 시스템 설계를 실시하였다. 이를

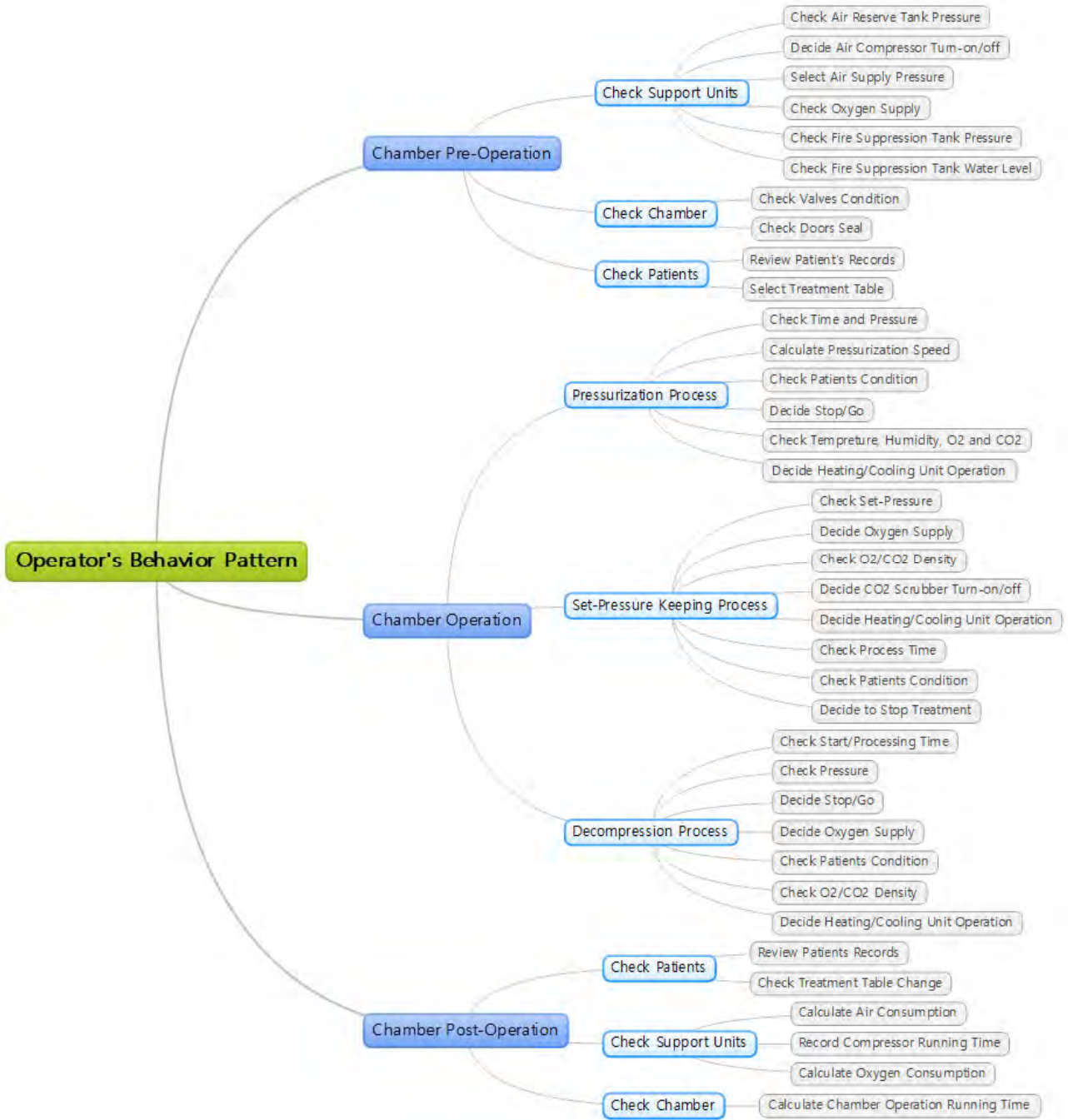


Figure 12: Analysis of operator's behavior pattern

위해 잠수 치료표를 분석하여 자동화 가능 부분을 선정하였고, 필요한 제어 기술을 검토하여 제어 방식을 결정하였다. 또한 안전성 확보를 위해 센서들의 이중화 기술, 이상 징후 발현 시 자동 정지 기능 등을 구현할 수 있도록 설계하였다.

현재 본 연구에 의한 결과는 제품 생산에 반영되고 있는데, 본 연구의 결과로 수요자의 요구에 따라 수동제어 모델, 원격제어 모델, 자동화 모델이 제작 가능하게 되었다. 몇 가지 문제점이 개선되면 조만간 완전 자동화 시스템을 갖춘 제품이 시장에 선보일 예정이다.

결론적으로, 이 분야의 국내 연구가 거의 전무한 상황에

서 어렵게 연구를 시작하였지만 소기의 성과를 거두었다고 평가가 된다. 향후 사용자의 운용 경비 절감과 수익성 증대라는 경제적인 이득에 기여할 것으로 기대된다.

후 기

본 과제는 산업통상자원부의 출연금으로 수행한 산학융합지구조성사업의 연구결과입니다.

References

[1] Ministry of Food and Drug Safety, Rules Relating to

- Items and Itemized Classification of Medical Equipments, Ministry of Food and Drug Safety Notice, No. 2016-4, 2016 (in Korean).
- [2] DIN EN 14931:2006, Pressure vessels for human occupancy (PVHO). Multi-place pressure chambers for hyperbaric therapy. Performance, safety requirements and testing, 2006.
- [3] NEFA 99, Standard for Health Care Facilities Code, 2015.
- [4] JIS. T. 7321, Hyperbaric Oxygen Chambers, 1989.
- [5] AS 4774.2, Work in Compressed Air and Hyperbaric facilities Part 2, 2002.
- [6] ARP 1398A, Testing of oxygen Equipment, 2016.
- [7] UFC 4-159-01, Unifies Facilities Criteria - Design: Hyperbaric Facilities, 2004.
- [8] KS P 6120, Hyperbaric Oxygen Chambers, 2016.
- [9] K. J. Kim, "Diving and hyperbaric medicine," Korean Journal of Anesthesiology, vol. 54, no. 5, pp. 479-485, 2008 (in Korean).
- [10] K. C. Nam, Development of Standard in Medical Chamber, Korea Electrotechnology Research Institute, Ministry of Food and Drug Safety Report, 2009 (in Korean).
- [11] K. C. Nam, J. H. Lee, J. H. Chung, and S. M. Kim, "The study of safety and performance test methods for hyperbaric chamber," The Korean Society of Food, Drug and Cosmetics Regulatory Science, vol. 5, no. 1-2, pp. 29-35, 2010 (in Korean).
- [12] M. G. Cho and H. S. Choi, "Design of oxygen chamber system for diagnosis and treatment of clod hypersensitivity," Journal of Korean Academia Industrial cooperation Society, vol. 13, no. 12, pp. 6013-6021, 2012 (in Korean).
- [13] K. J. Oh, S. W. Choi, J. S. Park and S. W. Lee, "A study on hyperbaric chambers for treating decompression sickness in the republic of Korea," Journal of Korean Society of Emergency Medicine, vol. 22, no. 3, pp. 253-258, 2011 (in Korean).
- [14] T. E. Berghage, J. Vorosmarti Jr, and E. E. P. Barnard, Recompression Treatment Tables used throughout the World by Government and Industry, US Naval Medical Research Center Technical Report. NMRI-78-16, 1978.
- [15] USN, U.S. Navy Diving Manual, Revision 7, 2016.