

익수자의 호흡이 가능한 최소 부력 추정에 관한 연구

임정빈*† · 박득진** · 강유미**

* 목포해양대학교 해사대학 항해학부, ** 목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과

A Study on the Estimation of the Minimum Buoyancy for the Respiration of a Drowning Person

Jeong-Bin Yim*† · Deuk-Jin Park** · Yu Mi Kang**

* Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

** Graduated School of Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요약 : 익수자의 부력을 지원할 수 있는 도구나 장비는 익수자의 생명 연장에 중요하다. 본 연구의 목적은, 최소 1분의 시간 동안 사람의 머리가 수면위로 부상하여 호흡할 수 있는 것으로 가정한 최소 부력의 형성에 필요한 가스의 양과 뉴턴(newton) 단위의 부력을 추정함에 있다. 부력 실험 장치는 이산화탄소 가스를 주입한 긴 고무풍선을 이용하였고, 6명의 대학생을 대상으로 부력측정 실험을 하였다. 부력의 정도는 5점 척도를 이용하여 측정하였고, 측정된 데이터의 통계 값을 분석하여 최소 부력에 필요한 이산화탄소의 양을 추정하였다. 실험 결과, 이산화탄소 8 그램은 72%의 신뢰수준에서 최소부력 조건을 만족하고, 부력은 44.66 뉴턴으로 계산되었다. 이산화탄소 12 그램은 100%의 신뢰수준에서 최소부력 조건을 만족하고, 부력은 66.99 뉴턴으로 계산되었다. 본 연구를 통해서 저가이면서 휴대가 간편한 최소부력지원 장치의 개발이 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 익수자, 생명 연장, 부력, 고무풍선, 이산화탄소

Abstract : Tools and equipment that can provide buoyancy for a drowning person are important for saving lives. The purpose of this study was to estimate the minimum amount of gas needed and the buoyancy value in newton units required to generate the minimum buoyancy determined to be sufficient for keeping the head of a drowning person above the water's surface to allow for respiration for at least 1 minute. A buoyancy experiment was carried out with a long rubber balloon injected with carbon dioxide gas, and a buoyancy measurement experiment was performed on six college students. The degree of buoyancy was measured using a 5-point scale, and the statistical value of the measured data was analyzed to estimate minimum buoyancy. As a result, 8 grams of carbon dioxide were determined to satisfy minimum buoyancy conditions with a confidence level of 72%, and buoyancy was calculated to be 44.66 newtons. 12 grams of carbon dioxide met the minimum buoyancy conditions with a confidence level of 100%, and buoyancy was calculated to be 66.99 newtons. This study is expected to contribute to the development of low cost, easy-to-carry minimum buoyancy aids.

Key Words : Drowning person, Life extension, Buoyancy, Rubber balloon, Carbon dioxide

1. 서론

국가기술표준원(KATS, 2009)의 「자율안전확인대상공산품 안전기준 (부속서)02-스포츠용구명복」에 의하면, 스포츠용 구명복(Life-jackets)은, 스포츠 및 레저 활동 시 물 속에서의 안전 확보를 목적으로 착용하는 의복형태의 모든 제품을 말하며, 부력보조복(buoyancy aids)을 포함하는 것으로 정의되

어 있다. 또한 부력 보조복은 물에서 35 N(Newton) 이상의 부력유지가 가능한 제품을 의미하고, 구명복과 부력 보조복은 위험을 줄일 수는 있지만 반드시 구조된다는 것 자체를 보장하지는 않는다고 명시되어 있다.

한편, 해양수산부(MOMAF, 2013)의 「어선용품의 형식승인 시험 및 검정 등에 관한 기준 - 일부개정안 행정예고」에 의하면, 인명구조복의 종류를 고체식, 팽창식 구명조끼 외에 착용성이 향상된 구명조끼 등으로 정하고, 성능시험에서 초기 부력은 75 N 이상일 것으로 규정하고 있으며, 그 외에 다

† Corresponding Author : jbyim@mmu.ac.kr, 061-240-7170

양한 시험 및 평가 조건이 명시되어 있다. 그리고 선박안전기술공단(KST, 2012)의 보고서 “상시착용형 구명동의 형식승인시험기준(안) 개발”에 의하면 최소부력을 70 N로 정한 구명동의의 현황을 제시한 바 있다.

이와 같이 관련기관마다 구명복의 명칭을 스포츠용 구명복, 부력보조복, 인명구조복, 구명조끼 등과 같이 다양하게 사용하고, 형식기준이 복잡하다. 본 연구에서는 단순한 부력보조 용품은 “부력보조복”이라 칭하고, 그 외의 용품은 “구명동의”라 칭하며, 이 둘을 “구명복”이라 통칭한다.

현재의 상용 구명복은 다양한 형식기준에 적합해야 하기 때문에 부피가 커서 상시 휴대가 곤란하고, 가격이 수 만원에서 수십만 원대에 달하여 쉽게 구입하기 곤란한 문제점이 있다. 아울러 익수하기 전에 미리 착용해야 하는 불편함과 익수한 상태에서 착용이 곤란한 문제점이 있다.

한편, 작은 부력을 지원할 수 있는 과자 봉지 또는 PET(Poly Ethylene Terephthalate) 병도 최소한의 생명유지에 도움이 되는 것으로 보도되고 있다(Naver, 2017a). 그리고 익수자를 구조하는데 필요한 골든타임(golden time)은 4분으로 알려져 있고, 4분이 지나면 뇌사가 진행되는 것으로 보도되고 있다(Naver, 2017b). 아울러 수영에 미숙한 익수자는 익수 즉시 물이 기도로 넘어가면서 공황상태에 빠지는 것으로 보도되고 있다(Naver, 2017c; Courtney, 1987).

따라서 휴대가 간편하여 언제든지 사용 가능하고, 가격이 저렴하여 쉽게 구입이 가능하며, 1분~2분 동안만이라도 호흡이 가능하도록 기도를 유지할 수 있는 최소부력지원장치(Minimum Buoyancy Supporting Aid, MBSA)(Kang et al., 2017)의 개발이 필요한 실정이다. 이러한 MBSA를 개발하기 위해서는 최소부력이 얼마인지 우선 알아야 한다.

본 연구의 목적은 익수자의 머리만 수면위로 부상하여 최소 1분 이상 호흡을 할 수 있는 최소부력의 추정에 있다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 연구접근 방법을 나타내고, 3절에서는 실험방법을 나타냈으며, 4절에서는 실험결과를 나타냈다. 마지막으로 5절에서 연구결과를 요약하였다.

2. 연구 접근 방법

2.1 연구 범위

본 연구에서는 최소부력을 “최소 1분의 시간 동안 익수자의 머리가 수면위로 부상하여 기도를 확보할 수 있어서 호흡이 가능한 부력”으로 정한다. 그리고 연구 범위는 최소부력 형성에 필요한 가스의 양과 뉴턴(Newton) 단위의 부력 추정으로 두고, 부력 형성 재료는 이산화탄소(Carbon dioxide, CO₂)로 제한하였다. 이와 같이 연구범위를 제한한 이유는 다음과 같다.

물속에서 부력을 유지하기 위한 재료(부력재)의 종류와 형태는 실로 방대하고, 부력은 체중과 기상환경 등에 따라 다르며, 특히 부력 유지시간은 적용한 부력 재료와 기상환경에 따라서 다르게 나타난다(Graham Solomons and Fryhle, 1980; Han et al., 2014). 따라서 이러한 모든 조건에서 최소부력을 추정하기는 곤란하다. 그리고 본 연구의 최종 목표는 최소부력지원장치(Minimum Buoyancy Supporting Aid, MBSA)를 개발하는 것이기 때문에 구명복과 관련된 형식승인과 규정을 적용하지 않고, 본 연구에서 정한 최소부력의 조건으로 연구범위를 제한하였다.

한편, MBSA의 부력재는 가연성이 있거나 조연성이 있을 경우 화재가 발생할 수 있다. 그리고 부력재는 부피가 작아야 하며 가격이 저렴해야 한다. 아울러 부력재는 공기보다 밀도가 커야하는데, 작으면 공기 중으로 부력장치가 날아갈 수 있기 때문이다. 다양한 자료를 선행 조사한 결과(KATS, 2009; MOMAF, 2013), CO₂가 MBSA에 적합한 것으로 검토되어서 본 연구에서는 CO₂를 부력재로 정하고, 저가이면서 간단하게 실험할 수 있는 고무풍선을 실험용 외피로 사용하였다.

2.2 연구 절차

연구절차는 다음과 같다.

- Step 1: 상용 구명복에 대한 부력실험을 통해서 실험 장치에 필요한 조건을 도출한다.
- Step 2: 긴 고무풍선에 일정한 양의 CO₂를 주입하여 실험용 부력장치를 제작하고, 고무풍선을 팔로 감을 때와 목에 감을 때의 부력상태를 측정한다.
- Step 3: 실험용 고무풍선의 부력 유지시간을 측정한다.
- Step 4: 실험결과를 종합하여 최소부력에 필요한 CO₂ 양을 추정하고, CO₂ 양에 해당하는 뉴턴 단위의 부력을 계산한다.
- Step 5: 이상의 결과를 종합하여 계산한 부력의 신뢰수준을 검토하고 타당성을 제시한다.

2.3 부력 계산 방법

CO₂ 질량(Gram, g)에 대한 부력(Newton, N)은 다음의 화학식으로 계산하였다. 해수 속에서 기체가 받는 부력 B_{gas} 은 다음과 같이 나타낼 수 있다(Atkins, 2013; McMurry et al., 2016; Oxytoby, 2007).

$$B_{gas} = V_{gas} \rho_{sea} g \quad (1)$$

여기서, V_{gas} 는 기체의 부피(Liter, l)이고, ρ_{sea} 는 해수의

밀도, g 는 중력가속도(9.8 m/s^2)를 나타내고, V_{gas} 는 다음 식 (2)로 계산할 수 있다(Kenneth, 2014; McFadden and Simpson, 1978).

$$V_{gas}(STP) = m_{CO_2} \times \frac{1 \text{ mol } CO_2}{Mw_{CO_2}} \times \frac{22.4 \text{ L } CO_2(STP)}{1 \text{ mol } CO_2} \quad (2)$$

여기서, m_{CO_2} 는 CO_2 질량[g]을 나타내고, $1 \text{ mol } CO_2$ 는 아보가드로 수(Avogadro constant)를 의미하는 6.02×10^{23} 개의 CO_2 단위입자를 나타내며, Mw_{CO_2} 는 1몰(mole)의 질량으로 44g이다. $22.4 \text{ L } CO_2$ 는 0°C 1기압[atm]의 표준상태(Standard state Temperature Pressure, STP)일 때 CO_2 의 부피[L]이다.

3. 실험

3.1 실험의 종류와 실험 환경

실험의 종류와 환경 결정에는 해양수산부(MOMAF, 2013)의 「어선용품의 형식승인 시험 및 검정 등에 관한 기준 - 일부개정안 행정예고」를 참고하였다.

Table 1에 본 연구에서 실시한 실험의 종류별 목적과 실험 환경을 요약하여 나타냈다. 첫째 실험에서는 최적의 부력유지 방법을 모색하기 위하여 3종의 부력보조복과 2종의 구명동이에 대한 부력을 측정하였다. 둘째 실험에서는 CO_2 를 주입한 고무풍선의 착용방법에 따른 부력을 측정하였다. 셋째 실험에서는 CO_2 를 주입한 고무풍선을 팔로 감을 경우의 부력을 측정하였다. 넷째 실험에서는 CO_2 를 주입한 고무풍선을 목에 감을 경우의 부력을 측정하였다. 마지막으로 다섯째 실험에서는 CO_2 를 주입한 고무풍선을 목에 감을 경우의 부력 유지시간을 측정하였다.

실험에는 대학 4학년 남자 5명과 여자 1명 등 총 6명이 참가하였다. 안전을 위하여 교수 1명과 조교 2명, 도우미 2명 등 5명의 안전요원을 배치하였다.

한편, 참가자들의 수영 능력과 자체 부양능력은 실험에 영향을 미칠 것으로 고려하여 사전에 참가자들을 평가하고, 그 결과를 Table 2에 나타냈다. 참가자 식별번호(ID) ST3의 경우, 수영 능력이 우수하고 몸 자체의 부력만으로도 부양이 가능하였다. 참가자 ST5는 수영은 잘하지만 입수 후 바로 침수되었다. 참가자 ST4는 3차 실험부터 참여하지 못하였고, 대신 참가자 ST6이 새로 참여하였는데, 이들의 수영 능력과 자체 부양능력은 유사하다.

Table 1. The purpose of five experiments and the experimental environments

Test	Purpose
1st	In (a), commercial life-jacket and buoyancy aids experiment to find the optimal buoyancy maintenance method.
2nd	In (a), buoyancy measurement by the method of wearing rubber balloon injected with carbon dioxide gas.
3rd	In (b), buoyancy measurement when the balloon injected with carbon dioxide gas is wound around the arm.
4th	In (b), buoyancy measurement was carried out when the carbon dioxide-injected rubber balloon was wound around the neck.
5th	In (b), measurement of the retention time of buoyancy when a carbon dioxide-injected rubber balloon was wound around the neck.

Remarks: Experimental environment

(a)

- Date & time: September 8, 2017, 15:00 - 16:00
- Place: Outdoor swimming pool in Mokpo National maritime University, Korea
- Seawater temperature: 26.9°C
- Seawater specific gravity: 1.019
- Air Temperature: 28°C
- Wind direction and force: North, 10 m/s

(b)

- Date & time: September 21, 2017, 11:00 - 12:00
- Place: same as in (a)
- Seawater temperature: 23.3°C
- Seawater specific gravity: 1.019
- Air Temperature: 27°C
- Wind direction and force: Southwest, 2 m/s

Table 2. Specification of subjects, ability to swim and self-supporting ability

ID	Sex	Body weight (Kg)	Swimming ability	Self-supporting ability
ST1	Female	61	Very good	Good
ST2	Male	64	Good	Very good
ST3	Male	96	Excellent	Excellent
ST4	Male	75	Very good	Very good
ST5	Male	70	Good	Fair
ST6	Male	82	Good	Good
	Average	74.67		

3.2 상용 구명복의 실험 방법

실험에 사용한 3종의 부력보조복과 2종의 구명동이에 대한 명세를 Table 3에 나타냈다. 부력보조복은, 스티로폼을 삽

익수자의 호흡이 가능한 최소 부력 추정에 관한 연구

입한 아동용과 스티로폼을 삽입한 성인용, 그리고 압축된 스티로폼을 삽입한 배낭 형태 등을 실험에 사용하였다. 구명동의 2종은 목에 착용한 상태에서 CO_2 가 자동으로 팽창되는 자동팽창형으로, CO_2 18g을 이용하는 수압감지식(moisture sensing)과 CO_2 20g을 이용하는 수분감지식(hydraulic pressure sensing)을 실험에 사용하였다. 아동용의 경우 부력은 35 N~60 N으로 나타났고, 성인용은 80 N~110.2 N으로 나타났다.

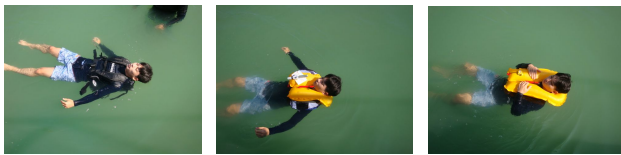
Fig. 2는 실험 장면을 나타낸 것으로, 참가자 5명이 부력보조복과 구명동의를 착용했을 때 부력이 가능한지와 안전함 느낌 등을 측정하는 장면을 나타낸다.

Table 3. Specifications of commercial life-jackets and buoyancy aids

Type	Class	Buoyancy material	Buoyance (Newton)
Buoyancy aids	Children jacket	Styrofoam	35 ~ 60
	Adult jacket	Styrofoam	60 ~ 80
	Back jacket	Compressed Styrofoam	85
Life jacket	Moisture sensing	Gas (CO_2 18 g) injected into Jacquard fabric	85
	Hydraulic pressure sensing	Gas (CO_2 20 g) injected into Jacquard fabric	110.2



(a) Children jacket (b) Adult jacket



(c) Back jacket (d) Moisture type (e) Pressure type

Fig. 1. Experimental scene for buoyancy aids and life-jacket.

3.3 풍선을 이용한 부력 실험 방법

공기를 주입했을 때 30 cm의 길이로 팽창되는 긴 고무풍선에 CO_2 를 주입하여 부력실험을 하였다. 일반적으로 부력보조복의 외피는 내연성 원단을 사용하고, 구명동의는 재키드 원단(Jacquard fabric)을 사용하는데, 본 연구에서는 쉽게 CO_2 를 주입할 수 있는 고무풍선을 이용하였다. 여기서, 고무풍

선은 터질 위험이 있기 때문에 상용제품에 적용하기는 곤란하다. 향후에는 재키드 원단이나 내연성 원단을 고무풍선에 감싸는 형태로 개발할 예정이다.

Table 4는 실험에 사용한 고무풍선의 명세를 나타내고, Fig. 3은 고무풍선에 주입한 GIYO SABE 회사의 CO_2 16g 카트리지(cartridge)(GIYO, 2017)의 사진이다. CO_2 16g를 4개의 고무풍선에 고르게 주입하여 고무풍선 1개 당 4g가 주입되도록 고무풍선을 제작하였다. 이러한 고무풍선을 1개부터 점차적으로 개수를 증가시키면서 부력실험을 하였다.

Table 4. Buoyancy support rubber balloons used in the experiment

Type	Amount of CO_2 (g)	Descriptions
B1	4	One long balloon with 4 grams of CO_2
B2	8	Two long balloons with 4 grams of CO_2
B3	12	Three long balloons with 4 grams of CO_2
B4	16	Four long balloons with 4 grams of CO_2



Fig. 2. CO_2 gas cartridge with 16 grams.

그리고 Table 5와 같은 5점 척도를 이용하여 신체의 미치는 부력의 정도를 평가하였다. 예를 들어 5점은 대단히 양호하게 부력이 유지되는 상태를 나타내고, 1점은 머리가 완전히 침수되는 상태를 나타낸다.

본 실험에서 최종 도출하려는 최소부력은 3점(머리만 수면 위로 유지되고 신체는 가라앉음) 이상일 때의 부력으로 정하고, 최소부력을 만족하는 점수에 해당하는 풍선에 주입된 CO_2 양을 구하였다. 예를 들어, 고무풍선 2개(총 8g의 CO_2)를 이용한 경우 3점 이상이 도출되었다면, 8g를 최소 부력에 필요한 CO_2 양으로 결정하고, 이에 대한 뉴턴 단위의 부력을 화학식을 통해서 계산하였다.

Fig. 3은 고무풍선의 실험 장면들을 나타낸다. Fig. 3(a)은 참가자가 고무풍선 4개를 팔로 감은 경우의 부력 측정실험

장면을 나타낸다. Fig. 3(b)부터 Fig. 3(d)까지는 고무풍선 3개, 2개, 1개인 경우의 실험장면을 각각 나타낸다. Fig. 3(e)은 부력 유지시간 측정실험, Fig. 3(f)은 고무풍선을 목에 감고 자유롭게 수영하는 장면이다.

Table 5. Rating scale and its meaning

Score	Meaning
5	Part of the body, including the head, is held above the surface of the water.
4	The head is held above the surface of the water, and a part of the body sinks.
3	Only the head is kept on the surface, the body sinks.
2	Sinking to the mouth.
1	The entire head sinks.

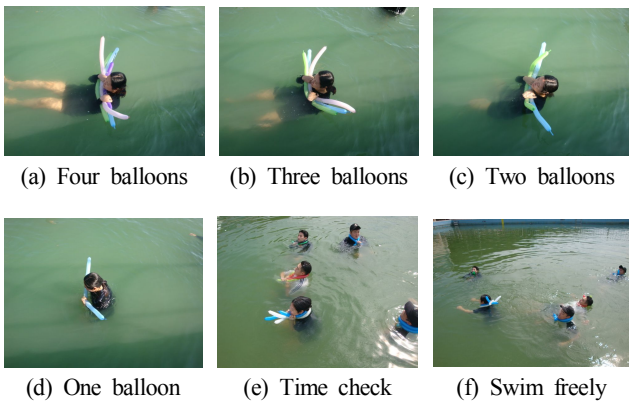


Fig. 3. Experimental scenes of CO₂ rubber balloon.

4. 실험 결과 및 검토

4.1 상용 구명동의 부력 실험 결과

Table 6은 상용 부력보조복과 구명동의에 대한 실험결과를 나타낸다. 실험결과, 참가자 ST5를 제외하고 아동용 부력보조복(Children jacket)만으로도 부력이 가능함을 나타냈는데, ST5의 경우 부력은 가능하지만 부분적으로 침수되는 현상을 나타냈다. 배낭 형태의 부력보조복(Bag jacket)은 부력은 가능하지만 몸이 좌우로 경사되는 현상을 나타냈다. 수분감지식(Moisture sensing)과 수압감지식(Hydraulic pressure sensing)의 경우는 목을 편안하게 받쳐주는 것으로 나타났다.

이를 통해서, 아동용 부력보조복의 부력(35N~60N) 정도로도 참가자들은 부양이 가능했고, CO₂을 이용한 자동팽창식의 경우 목을 편안하게 받쳐주기 때문에 안정된 상태로 자세유지가 가능함을 알았다.

Table 6. Results of commercial buoyancy aids and life-jacket

ID	Type of buoyancy aids or life jackets				
	Children jacket	Adult jacket	Bag jacket	Moisture sensing	Hydraulic pressure sensing
ST1	Floats well	Floats well	Floats well	Floats well	Floats well and grab the nape
ST2	Floats well	Floats well	Floats but body is tilted	Floats well	Floats well
ST3	Floats well	Floats well	Floats well	Floats but uncomfortable	Floats but uncomfortable
ST4	Floats well	Floats well	Floats but body is tilted	Floats well	Floats well
ST5	Floats but partly sinking	Floats well	Floats but swaying sideways	Floats and head comfortable	Floats and head comfortable

4.2 풍선을 감싸는 방법에 관한 실험 결과

Table 7은 풍선을 감싸는 두 가지 방법에 대한 부력실험 결과를 나타낸다. 첫 번째는 풍선을 팔로 감는 방법이고, 두 번째는 풍선을 목에 감싸는 방법이다.

실험결과, 팔로 감싸는 방법(Method A)의 경우, B1(풍선 1개)은 평균 2.4점을 나타내서 최소부력 조건인 3.0점을 만족하지 못하였다. B2(풍선 2개)는 평균 3.2점이 나타났고, B3(풍선 3개)과 B4(풍선 4개)에서는 각각 평균 4.0점과 평균 5.0점으로 나타났다. 목에 감싸는 방법(Method B)의 경우는 B1(풍선 1개)이 평균 2.6점, B2(풍선 2개)가 평균 4.0점으로 나타났다.

따라서 풍선 2개가 최소부력 조건을 평균적으로 만족함을 알았고, 목에 풍선을 감싸는 형태가 팔로 감싸는 형태와 비교하여 부력유지 효과가 더 우수함을 알았다. 이러한 결과는 1회 측정된 것이기 때문에 실험결과와 신뢰성 확보를 위하여 두 가지 방법에 대한 실험을 중복하여 실시하였고, 그 결과는 이하에 나타났다.

Table 7. Results of buoyancy state measurement for two methods of wrapping rubber balloon (unit: score)

Method Type ID	A (Wrapped in arms)				B (Wrapped around the neck)	
	B1	B2	B3	B4	B1	B2
ST1	1	2	4	5	1	4
ST2	2	3	3	5	3	4
ST3	4	4	4	5	4	5
ST4	2	3	4	5	2	4
ST5	3	4	5	5	3	3
Average	2.4	3.2	4.0	5.0	2.6	4.0

4.3 풍선을 팔로 감은 경우의 부력 실험 결과

Table 8은 풍선을 팔로 감고 실시한 실험 결과를 나타낸다. B1은 두 번의 실험결과에서 여전히 최소부력 조건을 만족하지 못하는 평균 1.8점을 나타냈다. B2는 첫 번째 실험결과(1st)에서 평균 3.6점을 유지하고 두 번째 실험결과(2nd)에서는 평균 3.0점을 나타냈다. B3은 첫 번째 실험결과(1st)에서 평균 4.0점을 나타냈으나 두 번째 실험결과(2nd)에서는 평균 3.6점을 나타냈다.

따라서 반복측정실험에서도 풍선 2개를 이용하면 최소부력 조건 3.0점을 만족하는 것으로 나타났다. 여기서, 횡수가 증가할수록 평균점수가 낮아진 것은 시간경과에 따라 풍선에 주입한 CO₂가 다소 감소한 것으로 조사되었다.

Table 8. Results of buoyancy state measurement (unit: score)

Type ID	B1		B2		B3	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
ST1	2	1	4	4	4	4
ST2	1	1	4	2	4	3
ST3	4	5	5	5	5	5
ST5	1	1	3	2	4	3
ST6	1	1	2	2	3	3
Average	1.8	1.8	3.6	3.0	4.0	3.6

4.4 풍선을 목에 감은 경우의 부력 실험 결과

Table 9는 풍선을 목에 감고 실시한 실험 결과를 나타내는데, 첫 번째 실험(1st)은 풍선을 목에 감고 참가자들이 임의적으로 팔을 움직일 때의 측정결과를 나타내고, 두 번째 실험(2nd)은 풍선을 목에 감고 참가자들이 임의적으로 팔과 다리를 움직일 때의 측정결과를 나타낸다. B1은 두 번의 실험결과 모두 최소부력 조건을 만족하지 못하는 평균 2.4점과 1.8점을 나타냈다. B2는 첫 번째(1st) 실험에서 평균 3.4점, 두 번째(2nd) 실험에서는 평균 3.0점으로 나타났다.

따라서 풍선을 목에 두른 실험 결과에서도 풍선 2개를 이용하면 평균적으로 최소부력 조건을 만족함을 알았다.

Table 9. Results in the balloon was wrapped around the neck;

(a) when only the arm was moved, (b) when both the arms and legs were moved (unit: score)

Type ID	B1		B2		B3	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
ST1	4	1	4	3	4	4
ST2	1	1	4	3	4	4
ST3	5	5	5	5	5	5
ST5	1	1	1	1	3	4
ST6	1	1	3	3	4	4
Average	2.4	1.8	3.4	3.0	4.0	4.2

4.5 풍선을 목에 감은 경우의 부력 유지시간 실험 결과

최소부력은 머리가 수면 위로 유지되는 것뿐만 아니라 유지되는 시간도 중요하다. Table 10은 풍선을 목에 두르고 팔과 다리를 움직이지 않은 상태에서 머리가 물속에 잠길 때까지의 시간측정 결과를 나타낸다.

B1은 참가자 ST3만 5분 이상의 부력을 유지하고, 나머지 4명은 0분(즉, 입수함과 동시에 침수)을 나타냈다. 여기서 참가자 ST3은 몸 자체의 부양능력이 매우 우수하기 때문에 이러한 결과가 도출되었다. B2의 평균은 2.8분이고, 참가자 ST3을 제외한 평균은 2.25분(표에서 괄호에 표시)이다. B3는 평균 4.6분 이상으로 나타났다.

따라서 풍선을 목에 두른 상태에서 풍선 2개를 이용하면 평균 2분 이상 머리가 수면 위로 부상됨을 알았다.

Table 10. Results on the measurement of the time until the head is submerged (unit: minute)

Type ID	B1	B2	B3
ST1	0	3	5 >
ST2	0	3	5 >
ST3	5 >	5 >	5 >
ST5	0	0	3
ST6	0	3	5 >
Average	1.0 (0.0)	2.8 (2.25)	4.6 >

4.6 부력 측정결과의 신뢰수준 평가

실험에 사용한 고무풍선 B1(풍선 1개)부터 B3(풍선 3개)까지에 대한 부력 실험결과(Table 7~Table 9)를 종합하여 Table 11에 나타냈다. 세로 항목은 1점부터 5점까지의 측정 점수를 나타낸다. 그리고 가로 항목의 상단은 B1, B2, B3에 각각 주입된 총 CO₂의 양(4g, 8g, 12g)을 나타내고, 가로 항목의 하단은 측정 점수대별 출현 빈도(F)와 비율(P%) 및 비율의 합(SP%)을 나타낸다.

Table 11에서, 3점부터 5점까지의 비율의 합 SP(%)을 보면, CO₂ 4g는 28%, CO₂ 8g는 72%, CO₂ 12g는 100%로 나타났다. 이 결과를 통해서, 최소부력의 조건(즉, 측정점수3점이상)에 대해서 CO₂ 4g, CO₂ 8g, CO₂ 12g는 각각 28%, 72% 그리고 100%의 신뢰수준에서 만족함을 알았다.

Fig. 4는 CO₂ 양에 대한 점수출현 빈도의 수를 나타낸 것으로, 원 안과 위의 숫자는 점수에 해당하는 빈도이다. CO₂ 4g는 1점이 15회로 가장 많이 나타나고, CO₂ 8g는 3점과 4점이 각각 7회로 가장 많이 나타났으며, CO₂ 12g는 4점이 가장 많은 14회로 나타났다.

Table 11. Calculation results for the frequency (F) of score, the percentage of scores (P(%)), and the sum of the percentages (SP(%))

Score	CO ₂ 4 g			CO ₂ 8 g			CO ₂ 12 g		
	F	P(%)	SP(%)	F	P(%)	SP(%)	F	P(%)	SP(%)
5	3	12	28	4	16	72	5	20	100
4	3	12		7	28		14	56	
3	1	4		7	28		6	24	
2	3	12	72	5	20	28	0	0	0
1	15	60		2	8		0	0	
Sum	25	100	100	25	100	100	25	100	100

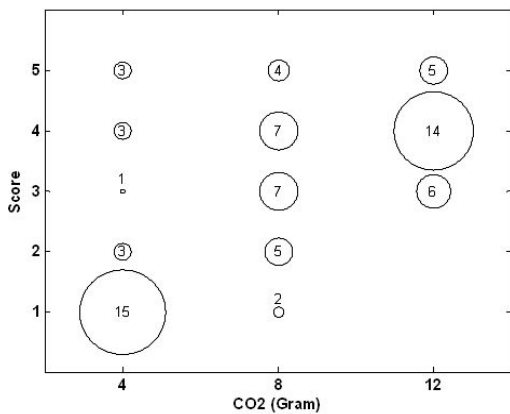


Fig. 4. Frequency of occurrence of scoring on the amount of CO₂.

Fig. 5는 CO₂ 양에 대한 점수출현의 누적빈도를 나타낸 것으로, 청색 계열일수록 낮은 점수를, 적색 계열일수록 높은 점수를 나타내며, 색에 대한 점수는 우측의 컬러바(color bar)에 표시하였다. CO₂ 4g는 1점에서 가장 많은 출현빈도를 나타내고, CO₂ 8g는 3점과 4점의 출현빈도가 높으며, CO₂ 12g에서는 4점 이상의 출현빈도가 큼을 알 수 있다.

따라서 CO₂ 8g 이상에서부터 최소부력 조건을 만족함을 알 수 있다. 여기서, 일반적으로 95% 이상(p < 0.05) 또는 99% 이상(p < 0.01)의 신뢰수준을 유의수준으로 고려하는 통계적 관점에서 보면, CO₂ 12g는 신뢰수준 100%(p = 1.0)에서, 그리고 CO₂ 8g는 72%(p < 0.25)의 신뢰수준에서 최소부력 조건을 만족하고, CO₂ 4g는 최소부력 조건을 만족하지 못하는 것으로 고려할 수 있다.

한편, 부력은 환경과 체중 및 사용한 부력 재질 등에 의해서 다양하게 변하기 때문에 95% 또는 99% 신뢰수준을 만족

하는 CO₂ 양의 추정에 관해서는 방대한 연구가 필요함으로 이에 관한 연구는 추후 과제로 둔다.

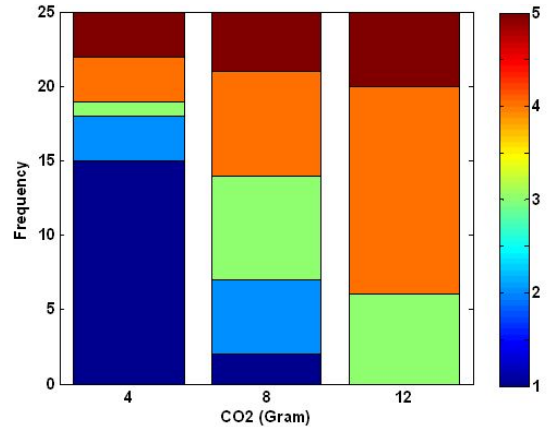


Fig. 5. Stacked frequency of occurrence of scoring on the amount of CO₂.

4.7 최소 부력 추정 결과

CO₂ 양에 대한 부력을 위의 화학식(2)으로 계산한 결과를 Table 12에 나타냈고, Fig. 6에 설명하였다. Table 12의 세로 항목은 CO₂ 양을 나타내고, 가로 항목은 세 가지 측정조건에 의해서 계산된 부력을 나타낸다. 표의 비고란에 나타낸 (a)과 (b)는 1~2차와 3~5차 실험 당시의 측정 환경을 각각 나타내고, (c)는 표준상태를 나타낸다. 그리고 Fig. 6은 Table 12에 나타낸 세 가지 환경((a)부터 (c)에 대해서 식(2)을 이용하여 계산한 CO₂ 양 대 부력 계산결과를 나타낸다.

계산결과, CO₂ 8g의 경우, (a)의 환경에 대해서는 44.68 N, (b)의 환경에 대해서는 44.14N, (c)의 환경에 대해서는 44.66 N 등으로 나타났다. 따라서 CO₂ 8g에 대한 부력은 표준상태(c)를 기준으로 하는 경우 44.66 N임을 알았다.

Table 12. Buoyancy calculation result by each condition (a), (b) and (c)

CO ₂	Buoyancy ^(a) (Newton)	Buoyancy ^(b) (Newton)	Buoyancy ^(c) (Newton)
4 g	22.34	22.07	22.33
8 g	44.68	44.14	44.66
12 g	67.02	66.21	66.99

Remarks:

- (a) 26.9°C, specific gravity 1.019
- (b) 23.3°C, specific gravity 1.019
- (c) 25.0°C, specific gravity 1.025

익수자의 호흡이 가능한 최소 부력 추정에 관한 연구

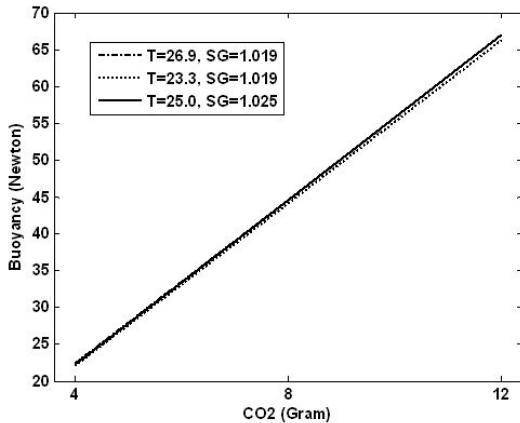


Fig. 6. Calculation results of buoyancy (Newton) for seawater temperature on the amount of CO_2 .

4.8 실험결과와 종합 분석

앞의 실험을 통해서 획득한 결과를 종합적으로 분석하면 다음과 같다.

첫째, 위의 상용 부력보조복(35 N~60 N)의 실험결과에서, 평균체중 74.67 Kg(최소 61 Kg, 최대 91 Kg)의 참가자들 머리가 수면위로 부상한 결과와 실험결과를 비교하면 추정된 최소부력(44.66 N~66.99 N)은 상용 부력보조복의 부력 범위에 해당함을 알았다.

둘째, 추정된 최소부력은 국가기술표준원(KATS, 2009)에서 정한 부력보조복의 부력 기준 35 N보다 크다.

셋째, CO_2 8g은 72%($p < 0.25$)의 신뢰수준에서 최소부력 조건을 만족하고, CO_2 8g에 대한 부력은 표준상태에서 44.66 N임으로 계산되었다.

따라서 CO_2 8g를 이용하면 국가기술표준원(KATS, 2009)에서 정한 부력보조복의 부력 기준인 35 N보다 큰 최소부력 지원장치(Minimum Buoyancy Supporting Aid, MBSA)의 개발이 가능함을 알았다.

5. 결론

본 연구에서 최소부력을 “최소 1분의 시간 동안 익수자의 머리가 수면위로 부상하여 호흡이 가능한 부력”으로 정한 조건에 대한 측정실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, CO_2 8g과 CO_2 12g은 각각 72%와 100%의 신뢰수준에서 최소부력 조건을 만족하고, 이에 대한 표준상태(25.0°C, 해수비중 1.025)에서의 부력은 44.66 N과 66.99 N으로 계산되었다.

둘째, CO_2 8g에 대한 최소부력 유지시간은 평균 2.8분부터 2.25분 사이로 나타났고, CO_2 12g은 4.6분 이상으로 나타

나서 최소부력의 조건인 1분 이상을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

셋째, CO_2 을 주입한 고무풍선을 팔로 감싸는 것 보다는 목에 감는 것이 더 안정적인 자세유지가 가능하고, 부력 평가결과 더 우수한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통해서, CO_2 8g를 주입한 고무풍선을 이용하면 부력보조복의 부력기준인 35 N보다 큰 최소부력지원장치(Minimum Buoyancy Supporting Aid, MBSA)의 개발이 가능함을 알았다.

한편, 생존에 필요한 부력은 체중과 환경에 의존하고, 익수자의 골든타임(golden time)은 4분 이내로 알려져 있기 때문에 향후 최소부력 유지 시간의 증가를 위한 연구가 필요하다.

후 기

본 논문은 2017년 해양수산부 지정 전남지역 씨그랜트 사업의 연구개발사업 과제지원에 의해 수행된 연구를 밝힌다.

References

- [1] Atkins, P.(2013), General Chemistry, Inquiry, pp. 515-528.
- [2] Courtney, W. L.(1987), Combined life vest device and buoyancy compensator, U.S. Patent No. 4, 681(552).
- [3] GIYO(2017), <http://www.giyo.com.tw> (2017.11.28.).
- [4] Graham Solomons, T. W. and C. B. Fryhle(1980), Organic Chemistry Tenth Edition, pp. 650-651.
- [5] Han, J. H., M. K. Choi and D. M. Choi(2014), A study on risk and safety measures of the improved explosive device, Korea Safety Management Tool, 16(4), 193-202.
- [6] Kang, Y. M., D. J. Park and J. B. Yim(2017), On the Minimum Buoyancy Support Required for the Life of Drowning Person, Proceeding of Spring Seminar, Korean Institute of Navigation and Port Research, Vol. 1, pp. 269-271.
- [7] KATS(2009), Safety standards for industrial products subject to autonomous safety confirmation, Annex 2: Life-jackets for Sports & Leisure, Notice of KATS No.2009-978.
- [8] Kenneth, A.(2014), Standard General Chemistry Lab., Korean Chemical Society, Astronomy, pp. 98-101.
- [9] KST(2012), Development and issuance of the standard test for the type approval of all types of life-jackets, Korea Ship

- Safety & Technology Authority, Registration No. 11-15410000-001600-01, Assignment No. 111084-1 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), pp. 1-219.
- [10] McFadden, E. B. and J. M. Simpson(1978), Buoyancy of Airline Life Jackets, FAA-AM-7 8-1 FLOTATION AND SURVIVAL EQUIPMENT STUDIES, p. 29.
- [11] McMurry, J., R. C. Fay and J. K. Robinson(2016), General Chemistry 4th Edition, General Chemistry Textbook Research Group, Free Academy, pp. 506-507.
- [12] MOMAF(2013), Administrative notice of some amendments for 「Standards for Approval and Testing of Type Approval Tests for Fishing Products」, Notice of Administration by Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, No. 2013-400, pp. 1-66.
- [13] Naver(2017a), <http://m.mt.co.kr/renew/view.html> (2017.11.28).
- [14] Naver(2017b), <http://namu.moe/w> (2017.11.28).
- [15] Naver(2017c), <http://namu.moe/w> (2017.11.28).
- [16] Oxytoby, D. W.(2007) Modern General Chemistry, Free Academy, pp. 250-290.

Received : 2017. 12. 01.

Revised : 2017. 12. 21.

Accepted : 2017. 12. 28.