

# 리스크 평가 및 분석 기법을 활용한 알코올 섭취에 따른 수중활동 시 리스크 분석

서상우\* · 강신범\*\*† · 강신영\*\*\*

\* 한국해양대학교 해양관리기술학과, \*\* 한국해양대학교 해양체육학과, \*\*\* 한국해양대학교 해양공학과

## Risk Analysis of Alcohol Consumption During Underwater Activity Using the Risk Assessment and Analysis Method

Sang-Woo SEO\* · Shin-Beum KANG\*\*† · Sin-Young KANG\*\*\*

\* Department of Maritime Management Technology, Korea Maritime and Ocean University Busan 49112, Korea

\*\* Department of Ocean Physical Education, Korea Maritime and Ocean University Busan 49112, Korea

\*\*\* Department of Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University Busan 49112, Korea

**요 약 :** 본 연구는 수중활동에서 나타나는 인체의 생리적 변화와 알코올 섭취로 인한 생리적 변화를 살펴보고 알코올 섭취가 스쿠버다이빙에게 미치는 영향을 규명하는데 그 목적이 있다. 미국 내부통제연구소위원회의 내부통제 프레임워크를 기초로 본 연구에 적합하도록 새롭게 정립한 ‘리스크 평가 및 분석(RAA, risk assessment and analysis)’ 기법을 활용하여 알코올 섭취 전과 후의 리스크 분석을 실시하였다. RAA기법은 리스크 간 상관관계를 분석하는 1단계, 리스크를 정량화하고 리스크 데이터베이스를 구축하는 2단계, 그리고 이를 도식화하여 리스크맵을 분석하는 3단계로 이루어져 있다. RAA기법을 통해 알코올 섭취로 인한 수중활동의 리스크수준이 전반적으로 증가하여 고위험군의 비율이 높아진 것을 확인하였고 리스크수준의 정량화와 고위험군 분류를 통해 리스크관리 측면에서 우선통제대상을 지정할 수 있었다. 본 연구 결과는 알코올 섭취 후 행해지는 스쿠버다이빙의 위험성을 명확하게 알리고 이에 대한 스쿠버다이빙의 의식 개선을 도모하여 보다 안전한 스쿠버다이빙 환경을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

**핵심용어 :** 스쿠버다이빙, 스쿠버다이빙, 알코올, 생리학적 고찰, RAA

**Abstract :** This study was designed to investigate the physiological response of humans to alcohol during underwater activity and to complete related risk analysis. After comparing human responses to alcohol during underwater activity, we analyzed physiological changes and risk level using a new risk analysis method developed in this study, ‘Risk Assessment and Analysis (RAA)’. RAA is a modified method based on an internal control frame work. It has 3 steps, the first of which is to analyze risk correlation. The second step is to quantify risk and build a risk database. The last step is to analyze the diagrammed risk map. Using RAA, the risk levels of alcohol use underwater were calculated and diagrammed. The diagrammed risk map was then used to analyze the difference between risk levels underwater before and after alcohol use. As a result, it was found that risk level underwater increased after alcohol use. This study shows alcohol use increases the ratio of high risk groups during underwater activity. It also indicates that risk levels can be quantified according to the likelihood and impairment scale, which can potentially help in identifying high risk groups for intensive management underwater.

**Key Words :** Scuba diving, Scuba diver, Alcohol, Physiological review, RAA

\* First Author : eidenseo@naver.com

† Corresponding Author : kangsb@kmou.ac.kr, 051-410-4791

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 필요성 및 목적

2018년 해양수산부의 해양관광 주요 통계 자료에 따르면 해양레저관광을 즐기는 이용객은 해마다 증가하고 있으며 그 중 스쿠버다이빙(scuba diving) 등의 수중레저활동 인구는 2015년 76만 명, 2016년 108만 명에서 2017년에는 115만 명으로 급격히 증가하였다(Ministry of oceans and fisheries, 2018).

해양레저관광 활성화와 레저활동 인구 증가로 인해 수난 안전사고 또한 매년 증가 추세이며 행정안전부의 2012년부터 2016년까지 통계 자료에 따르면 전체 수난 안전사고는 연평균 2만 7천여 건으로 안전부주의 등과 더불어 음주로 인한 사고가 주요 원인으로 집계되었다(Ministry of the interior and safety, 2018). 이렇듯 음주로 인한 위험성을 명확히 인식하지 못한 채 해마다 사고가 되풀이 되고 있으며 스쿠버다이빙과 같은 수중 활동에서도 예외 없이 음주로 인한 사고가 빈번히 발생하고 있다.

국가법령정보센터의 ‘수중레저활동의 안전 및 활성화 등에 관한 법률’ 제 21조에서는 해사안전법에 의거하여 술에 취한 상태에 있는 사람에게는 수중레저장비를 빌려주거나 수중레저기구를 태워주는 행위를 할 수 없게 명시하였다(National law information center, 2017). 하지만 스쿠버다이빙을 즐기는 사람들은 그동안 음주 후 스쿠버다이빙에 대해 많은 관용을 베풀었으며 이로 인해 발생하는 문제는 대부분 스쿠버다이빙(scuba diver) 본인의 책임으로 전가시켰다.

최근 해양경찰청 등 국가기관에서는 정기적으로 안전수칙을 배포하여 음주 후 스쿠버다이빙에 대한 위험성을 알리고 있으며 이러한 노력들로 점차 음주 후 스쿠버다이빙에 대한 부정적인 시각이 늘어나면서 안전한 스쿠버다이빙을 위한 의식 개선이 조금씩 이루어지고 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 알코올을 섭취한 스쿠버다이빙이 자신의 안전을 충분히 고려하는 경우는 드물다. 수중이라는 특수한 환경에서 이루어지는 스쿠버다이빙은 매 순간 발생할 수 있는 위험성을 인지해야 하나 알코올 섭취 후에는 이러한 위험성을 이성적으로 인지하지 못하고 긍정적인 결과에만 치중하는 인지적 오류(cognitive error)가 나타나게 된다(Stacy et al., 1991).

인지적 오류, 공황(panic) 등과 같은 심리적 요인만으로도 스쿠버다이빙은 큰 위험에 빠질 수 있지만 알코올 섭취 후 인체에 나타나는 생리적 변화 또한 스쿠버다이빙 위험성을 크게 증가시킬 수 있다. 하지만 대부분의 스쿠버다이빙자들은 알코올 섭취가 수중환경에서 인체에 어떠한 생리학적 영향을 미치는지 구체적으로 알지 못한다. 심리학적 요인과 더불어 정량화된 측정이 수월한 생리학적 분석에 대한 논의는

알코올 섭취와 스쿠버다이빙의 상관관계를 보다 쉽게 설명하고 이해할 수 있다는 장점이 있으나 이러한 연구는 국내·외적으로 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 수중환경의 물리적 특성에 기인한 인체의 생리적 변화와 알코올 섭취로 인한 인체의 생리적 변화를 중심으로 살펴볼 것이다. 또한 이 둘의 상관관계를 분석하고 위험요소로 분류된 항목에 대하여 리스크 분석기법을 적용하여 스쿠버다이빙 시 알코올 섭취에 따른 리스크수준 변화를 정량적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 보다 안전한 스쿠버다이빙 환경을 제시하고 스쿠버다이빙 시 발생할 수 있는 안전사고의 사전 예방에 필요한 기초 자료를 제공하는 데 연구의 목적이 있다.

더 나아가 알코올 섭취로 인해 리스크수준이 크게 증가하는 세부 항목들은 우선집중관리대상으로 선정하고 향후 적절한 통제수단을 적용하여 알코올을 섭취한 스쿠버다이빙자에게 발생하는 문제를 효과적으로 대응할 수 있는 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구설계

본 연구는 자료수집과 자료분석 단계로 나누어 진행하였다. 자료수집 단계에서는 기존 학술지, 논문 등의 연구자료를 토대로 수중활동과 알코올 섭취로 인한 인체의 생리적 특성 변화들을 알아보았다. 수중활동으로 인한 인체의 생리적 특성 변화에 대한 자료수집은 학술연구정보서비스(RISS, research information sharing service)와 관련 도서를 토대로 진행하였다. 학술연구정보서비스에서는 ‘스쿠버’, ‘수중’, ‘잠수’, ‘감압병’ 등의 색인으로 국내·외 관련 논문과 학술지를 검색하였으며 이중 참고문헌으로 인용된 도서 중 스쿠버다이빙의 ‘생리학’과 ‘의학’을 포함한 도서를 선별하여 참고하였다. 알코올 섭취로 인한 인체의 생리적 특성 변화는 ‘알코올’, ‘에탄올’, ‘대사’ 등의 색인으로 학술연구정보서비스와 국내·외 의학 정보 사이트를 검색하였으며 상세한 알코올 대사과정은 생화학(biochemistry) 관련 도서를 참고하였다.

스쿠버다이빙은 대기환경과는 다른 수중환경에서 이루어지는 활동으로 대기과 수중은 압력, 온도, 소리 등에서 다양한 물리적 특성 차이를 보인다. 이러한 물리적 특성 차이로 인해 스쿠버다이빙은 호흡량 증가, 전정기관 기능 이상, 부비동 압박 등의 생리적 변화를 겪게 되며 불활성기체마취, 산소중독, 압력손상 등 다양한 위험에 노출된다. 인체의 생리적 변화와 더불어 생리학적 요인에 기인한 각 위험 요소들을 자료수집 대상에 포함하였다.

알코올 섭취로 인한 인체의 생리적 변화는 알코올 섭취 이후 비교적 짧은 시간 안에 나타나는 일과성변화와 지속적인 알코올 섭취로 인해 나타나는 만성적 변화로 구분할 수 있다. 장기적인 알코올 섭취에 나타나는 만성적 질환인 간경변증(liver cirrhosis)과 위궤양(gastric ulcer) 등은 유전적 요소에 의한 개인차가 크고 즉각적으로 나타나는 인체의 생리적 변화를 파악하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 알코올 섭취 이후 수 시간 이내의 비교적 짧은 시간에 나타나는 생리적 변화만을 자료수집 대상으로 한정하였다.

이후 자료수집 단계에서 규명된 모든 생리적 특성들을 리스크로 정의하고 ‘이벤트 트리(event tree)’와 ‘폴트 트리(fault tree)’ 분석기법을 통해 리스크 정의의 타당성을 검증하였다(Curtis and Carey, 2012). 이벤트 트리는 앞서 발생된 리스크가 연쇄적으로 어떠한 리스크를 유발하는지 나열하고 미처 발견하지 못했던 리스크들을 추가로 정의할 수 있었다. 그리고 폴트 트리는 정의된 모든 리스크 하단부에 발생 원인을 기입하고 비교하여 그 원인과 정의된 리스크가 크게 다르지 않을 경우 중복으로 간주하고 삭제하였다. 이 과정을 통해 누락된 리스크를 추가하고 중복된 리스크를 제거하여 정의된 리스크의 신뢰도를 높일 수 있었다.

본 연구에서 사용한 자료분석 기법은 미국 내부통제연구소위원회(COSO, Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission)의 내부통제 프레임워크인 COSO II에 기초하였다. COSO II는 내부환경 조사, 목표설정, 리스크 규명, 리스크 평가, 리스크 대응, 리스크 통제활동, 정보와 의사소통, 모니터링 등 총 8단계를 거쳐 리스크를 관리하는 기법이며 설정된 목표를 이루는데 있어 영향을 미치는 모든 잠재 요인들을 고유리스크(inherent risk)로 규정하였다(Curtis and Carey, 2012). 그리고 각 고유리스크에 적절한 통제수단(control activities)을 적용하여 고유리스크의 리스크수준(risk level)을 낮추었다. 이처럼 통제수단에 의해 리스크수준이 변화된 고유리스크를 잔존리스크(residual risk)라고 하며 잔존리스크가 조직에서 수용 가능한 수준을 넘어선다면 또 다른 통제수단을 가하게 되고 충분히 수용가능한 수준이라면 해당 리스크에 대한 통제활동을 중단하는 기법이다.

COSO II는 통제수단의 효율성을 검증하는데 목적을 두고 있으며 두 가지 이상의 대상에 대해 서로의 리스크 상관성을 분석하기에는 어려움이 있었다. 이를 토대로 본 연구에서는 RAA 기법을 새롭게 정립하여 두 가지 이상의 대상에 대해 리스크 상관성을 분석할 수 있도록 하였으며 이후 COSO II의 통제활동 프로세스에도 적용할 수 있도록 하였다.

## 2.2 자료분석

RAA는 Fig. 1과 같이 3단계로 이루어져 있다.

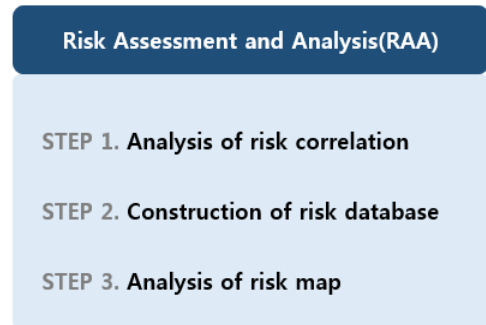


Fig. 1. Risk assessment and analysis process.

1단계는 ‘리스크상관관계’분석이다. 이 단계에서는 대상 리스크와 관련리스크를 결정하고 각 리스크 항목을 나열하며 상관관계를 분류하였다. 대상리스크는 선정된 목표를 수행함에 있어 발생 가능한 리스크 항목이며 본 연구에서는 수중활동으로 인한 인체의 생리적 변화로 인한 리스크를 대상리스크로 선정하였다. 관련리스크는 대상리스크에 영향을 미칠 것으로 판단되는 행위에 대한 리스크 항목이며 본 연구에서는 알코올 섭취로 인한 인체의 생리적 변화로 인한 리스크를 관련리스크로 선정하였다. 대상리스크와 관련리스크를 선정한 이후 각 리스크 항목을 소분류까지 상세하게 기술하였다. 그리고 Fig. 2의 예시와 같이 대상리스크 ‘Risk 1’의 발생가능성에 영향을 미치는 관련리스크 Risk 1-1의 ‘No.1’을 ‘발생가능성 증감(a)’에 기입하고 관련 항목의 합계 ‘1’을 기입하였다. 대상리스크 ‘Risk 2’의 경우에는 관련리스크 ‘Risk 2-1’과 ‘Risk 2-2’가 발생가능성을 2만큼 증가시키고 ‘Risk 2-1’이 영향크기를 1만큼 증가시켰다(단 발생가능성과 영향크기를 감소시킬 경우에는 빼준다). 1단계를 완료하고 대상리스크 항목들의 발생가능성과 영향크기가 관련리스크에 의해 얼마나 증감되었는지를 알 수 있었다.

2단계는 ‘리스크데이터베이스’ 구축이다. 이 단계에서는 대상리스크의 발생가능성과 영향크기를 Curtis and Carey (2012)가 제시한 정량화 기준인 Table 1을 토대로 1에서 5까지 수치화하고 관련리스크 영향에 따른 리스크수준 변화를 분석하였다. 대상리스크의 리스크수준은 발생가능성과 영향크기를 곱한 값으로 범위는 1부터 25까지이며 1에 가까울수록 위험도가 낮고 25에 가까울수록 위험도가 높다. 먼저 정량화 기준을 통해 평가된 대상리스크를 Fig. 3의 ‘대상리스크 항목’에 기술하고 발생가능성(P1)과 영향크기(II), 리스크수준(L1)을 기입하였다. 그리고 대상리스크에 영향을 주는 관련리스크는 ‘관련리스크 항목’에 기술하였다. 앞서 살펴본 바와 같이 관련리스크는 대상리스크의 발생가능성(P1)과 영향크기(II)를 증감(a, b)시켜 리스크수준(L2)을 변화(L2-L1, Δ)

Objective Risk :				The risk of underwater activity				
No.	Category	Division	Section	Likelihood (a)		Impairment (b)		total
1	-	-	Risk 1	1		1		
2	-	-	Risk 2	2	3	2	2	1

Put in objective risk                      Put in related risk number

Related Risk :		The risk of alcohol consumption	
No.	Category	Division	Section
1	-	-	Risk 1-1
2	-	-	Risk 2-1
3	-	-	Risk 2-2

Put in objective risk

Fig. 2. Analysis of risk correlation.

Objective Risk				Related Risk	Variation of Risk Level			
Section	Likelihood (P1)	Impairment (I1)	Risk Level (P1*I1=L1)	Section	Likelihood (P1+a=P2)	Impairment (I1+b=I2)	Risk Level (P2*I2=L2)	Variation (Δ) (L2-L1)
Risk 1	3	2	6	Risk 1-1	4	2	8	2
Risk 2	3	2	6	Risk 2-1 Risk 2-2	5	3	15	9

Put in objective risk      Put in score                      Put in related risk                      Put in modified score

Fig. 3. Construction of risk database.

Table 1. Classification of risk likelihood and impairment

Level	Descriptor of likelihood	Descriptor of impairment
1	Rare	Insignificant
2	Unlikely	Minor
3	Possible	Moderate
4	Likely	Major
5	Almost Certain	Catastrophe

시켰다. 2단계를 완료하면 관련리스크에 따른 대상리스크의 리스크수준 변화가 정량화된 수치로 환산되어 리스크데이터베이스가 구축되었다.

마지막 3단계는 ‘리스크맵’작성이다. 이 단계에서는 단순 나열식으로 열거된 리스크데이터베이스를 발생가능성과 영향크기를 기준으로 매트릭스(matrix)에 매핑(mapping)하였다. 발생가능성과 영향크기 수치만으로 리스크맵에 대응하는 항목의 수를 기입하는 것으로 관련리스크 적용 전과 후의 전반적인 리스크 분포 변화를 살펴볼 수 있었다. 리스크수준이 5미만 일 경우에는 저위험군(low risk group, D와 E), 5이상 10미만 일 경우에는 중위험군(moderate risk group, C), 10이상 일 경우에는 고위험군(high risk group, A와 B)으로 분류하였다. 리스크수준에 의한 위험군의 분류는 향후 리스크 통

제활동을 실행하는 사용자에게 따라 조정 가능하며 본 연구에서는 Curtis and Carey(2012)가 제시한 리스크수준 5와 10으로 위험군을 분류하였다.

### 3. 연구결과

본 연구에서 수행한 RAA 결과를 살펴보면 먼저 1단계로 대상리스크와 관련리스크의 리스크상관관계를 분석하였다. 수중활동으로 인한 리스크인 대상리스크 항목은 Table 2와 같이 총 26개 항목이었으며 알코올 섭취로 인한 리스크인 관련리스크 항목은 Table 3과 같이 총 14개 항목이었다. 각 리스크 항목은 Curtis and Carey(2012)의 ‘이벤트 트리’와 ‘폴트 트리’ 분석기법을 통해 리스크 정의의 타당성을 검증 하였으며 대상리스크의 발생가능성과 영향크기를 증감시키는 관련리스크 항목은 생리적 변화 양상이 동일하거나 직접적인 영향을 미치는 항목으로 한정하였다. 그 결과 대상리스크의 발생가능성을 증가되는 항목은 13개였으며 영향크기를 증가시키는 항목은 3개로 발생가능성 보다는 영향이 미비하였다. 리스크수준의 최대치가 5인 점을 감안하여 각 리스크마다 4개 항목까지 중복기재가 가능하도록 하였으며 총 대상리스크 26개 항목 중 13개, 즉 50%에 해당하는 항목이 관련리스크 영향을 받았다.

리스크 평가 및 분석 기법을 활용한 알코올 섭취에 따른 수중활동 시 리스크 분석

Table 2. List of objective risk and risk level

No.	Section	Likelihood (a)			Total	Impairment (b)			Total
1	Mask squeeze – Subconjunctival hemorrhage								
2	Equalizing disorder – Pain, Bleeding, Tympanic membrane rupture								
3	Paranasal sinus squeeze – Pain (headache, toothache), Bleeding								
4	Breath holding – Lung damage (subcutaneous emphysema, air embolism, pneumothorax)								
5	Rapid ascent – Lung damage, Decompression sickness								
6	Increase respiratory volume – Inert gas narcosis (hallucination, unconsciousness)	6			1				
7	Breath in deep water – Oxygen toxicity (pain, vomit, convulsion)								
8	Abnormal breath – Hypoxemia – Syncope	3	6	13	3				
9	Contaminant gas inhalation – Lung damage, Syncope								
10	Vestibular organ disorder – Disorientation, Dizziness	1	8		2	8			1
11	Misjudgment of visual information – distance and size	14			1				
12	Heat loss – hypothermia	1			1				
13	Diuresis acceleration – Dehydration	1	9		2				
14	Dehydrated cylinder gas – Dehydration	9			1				
15	Psychological disorder – Panic, Anxiety	1	3		2				
16	Peripheral blood flow decrease – Muscle dysfunction	1	7	12	3	12			1
17	Suit squeeze – Dizziness, Syncope								
18	Regulator damage – Hypoxemia, Syncope								
19	Buoyancy controller dysfunction – Decompression sickness								
20	Dehydration – Muscle dysfunction	1	7	9	3				
21	Dehydration – Blood viscosity increase – Cardiac overload and dysfunction	1	2	4	10	4	2	4	2
22	Fatigue increase	1	5		2				
23	Strong currents – Distress								
24	Mask loss and lack of light intensity – Visual malfunction	14			1				
25	Above planned diving depth and time – Decompression, Lack of gas								
26	Strong waves on the surface – Abrasion, Fatigue								

Source: Behnke et al., 1935; Mount, 2003; NOAA, 2001; Unsworth, 1966

Table 3. List of related risk

No.	Section
1	Acetaldehyde toxicity – Vasodilation – Heat loss
2	Acetaldehyde toxicity – Vasoconstriction – Blood pressure increase
3	Acetaldehyde toxicity – Vomit
4	Blood pressure increase – Cardiac overload and dysfunction
5	Lactate increase – Fatigue
6	Cortisol secretion – Pulse and respiratory rate increase
7	Cortisol secretion – Muscle dysfunction
8	Cortisol secretion – Reflex and balance dysfunction
9	Antidiuretic hormone inhibition – Dehydration
10	Calorie of alcohol – Body temperature rise – Dehydration
11	Dehydration – Blood viscosity increase – Cardiac overload and dysfunction
12	Dehydration – Muscle dysfunction
13	Folic acid decrease – Red blood cell (RBC) dysfunction – Anemia
14	Iris and lens dysfunction – Visual dysfunction

Source: Considine, 2005; Howard and Jeanette, 2018; Sacks and Jensen, 2018

Table 4. Risk database

No.	Objective Risk	P1	I1	L1	Related Risk No.	Variation			
						P2	I2	L2	Δ
1	Mask squeeze – Subconjunctival hemorrhage	3	2	6		3	2	6	
2	Equalizing disorder – Pain, Bleeding, Tympanic membrane rupture	3	2	6		3	2	6	
3	Paranasal sinus squeeze – Pain(headache, toothache), Bleeding	3	2	6		3	2	6	
4	Breath holding – Lung damage (subcutaneous emphysema, air embolism, pneumothorax)	2	4	8		2	4	8	
5	Rapid ascent – Lung damage, Decompression sickness	3	4	12		3	4	12	
6	Increase respiratory volume – Inert gas narcosis(hallucination, unconsciousness)	5	1	5	6	5	1	5	
7	Breath in deep water – Oxygen toxicity(pain, vomit, convulsion)	3	3	9		3	3	9	
8	Abnormal breath – Hypoxemia – Syncope	3	4	12	3, 6, 13	5	4	20	8
9	Contaminant gas inhalation – Lung damage, Syncope	1	4	4		1	4	4	
10	Vestibular organ disorder – Disorientation, Dizziness	4	1	4	1, 8	5	2	10	6
11	Misjudgment of visual information – distance and size	5	1	5	14	5	1	5	
12	Heat loss – hypothermia	5	1	5	1	5	1	5	
13	Diuresis acceleration – Dehydration	5	1	5	1, 9	5	1	5	
14	Dehydrated cylinder gas – Dehydration	5	1	5	9	5	1	5	
15	Psychological disorder – Panic, Anxiety	2	1	2	1, 3	4	1	4	2
16	Peripheral blood flow decrease – Muscle dysfunction	4	1	4	1, 7, 12	5	2	10	6
17	Suit squeeze – Dizziness, Syncope	3	1	3		3	1	3	
18	Regulator damage – Hypoxemia, Syncope	1	4	4		1	4	4	
19	Buoyancy controller dysfunction – Decompression sickness	1	3	3		1	3	3	
20	Dehydration – Muscle dysfunction	3	1	3	1, 7, 9	5	1	5	2
21	Dehydration – Blood viscosity increase – Cardiac overload and dysfunction	3	4	12	1, 2, 4, 10	5	5	25	13
22	Fatigue increase	2	1	2	1, 5	4	1	4	2
23	Strong currents – Distress	1	1	1		1	1	1	
24	Mask loss and lack of light intensity – visual malfunction	1	1	1	14	2	1	2	1
25	Above planed diving depth and time – Decompression, Lack of gas	1	3	3		1	3	3	
26	Strong waves on the surface – Abrasion, Fatigue	1	1	1		1	1	1	

2단계에서는 Table 4와 같이 리스크데이터베이스를 구축하였다. 앞서 선정된 대상리스크 26개 항목을 순서대로 기입하고 리스크 정량화 기준인 발생가능성과 영향크기로 수치화 하였다. 대상리스크 정량화 작업이 완료되면 1단계에서 분석한 자료를 기준으로 관련리스크 항목을 기입하고 그에 따른 발생가능성과 영향크기를 반영하여 리스크수준 변화를 결정하였다. 이때 발생가능성과 영향크기 증감범위는 0 부터 5까지로 제한하였다. 2단계 리스크데이터베이스에서 리스크수준이 증가한 대상리스크 항목은 총 26개 항목 중 8개로 약 30.8%로 나타났다.

마지막 3단계에서는 2단계에서 구축된 리스크데이터베이스를 Fig. 4, Fig. 5와 같이 리스크맵에 매핑하였다. 관련리스크 적용 전과 후의 전반적인 리스크수준 변화를 살펴보기 위해 Table 5와 같이 고위험군과 중위험군, 저위험군을 분류하여 비교해보았다. 관련리스크 적용 후 대상리스크의 고위험군은 3개에서 5개로 66.7% 증가하였고, 중위험군은 10개에서 11개로 10.0% 증가하였으며 저위험군은 13개에서 10개로 23.1% 감소하였다. 전반적으로 발생가능성과 영향크기가 증가하며 저위험군에서 고위험군으로 이동하는 양상을 보였다.

리스크 평가 및 분석 기법을 활용한 알코올 섭취에 따른 수중활동 시 리스크 분석



Fig. 4. Risk map of objective risk.



Fig. 5. Risk map after adapting related risk.

Table 5. Variation of risk level

	High Risk Group		Moderate Risk Group		Low Risk Group	
	Count	Percentage	Count	Percentage	Count	Percentage
Objective Risk	3	11.5 %	10	38.5 %	13	50.0 %
After adapting Related Risk	5	19.2 %	11	42.3 %	10	38.5 %
Variation of Risk Level	2	66.7 %	1	10.0 %	△3	△23.1 %

4. 논의

본 장에서는 앞선 RAA 결과에 기초하여 대상리스크와 관련리스크 선정의 타당성을 살펴보고 각 단계 별 분석결과에 대하여 논의하고자 한다.

Curtis and Carey(2012)의 COSO II 기법은 고유리스크에 대한 통제수단의 효율성을 검증하고 통제수단 적용 후 여전히 남아 있는 잔존리스크에 대한 수용가능여부를 판단하기에는 효과적이었다. 하지만 단일 리스크에 대한 리스크수준 변화 추이를 살펴보는 기법으로 두 가지 대상에 대한 리스크의 상관성을 살펴보기에는 적절하지 않았다. 따라서 새롭

게 정립된 RAA 기법에서는 1단계인 ‘리스크상관관계’ 분석을 위해 대상리스크와 관련리스크의 개념을 도입하였다. 본 연구에서는 알코올 섭취 후 인체에 나타나는 생리적 변화가 스쿠버다이빙과 같은 수중 활동의 리스크수준을 얼마나 증가시키는지 알아보려고 하는데 목적이 있다. 따라서 리스크수준 변화를 살펴볼 필요가 있는 목표나 대상인 ‘수중 활동으로 인한 인체의 생리적 특성 변화’를 대상리스크로 선정함이 타당하며 대상리스크에 영향을 미칠 것으로 판단되는 ‘알코올 섭취로 인한 인체의 생리적 특성 변화’를 관련리스크로 선정함이 타당한 것으로 판단된다.

향후에는 대상리스크인 수중활동으로 인한 생리적 특성



변화를 중심으로 스트레스 및 임신, 기타 약물에 의한 반응 등 스쿠버다이빙에 영향을 미칠 것으로 생각되는 다양한 대상을 관련리스크로 선정하고 RAA 기법을 적용하여 관련리스크 적용 전과 후의 리스크수준 변화를 살펴볼 수 있을 것으로 기대한다.

RAA 1단계인 리스크상관관계 분석은 대상리스크와 관련리스크의 세부 항목을 나열하고 대상리스크에 영향을 미치는 관련리스크를 기입하였다. 또한 대상리스크와 관련리스크의 소분류로 규명된 리스크 항목들은 Curtis and Carey(2012)의 이벤트 트리와 폴트 트리 기법을 토대로 누락된 항목을 추가하고 중복된 항목을 제거하는 과정을 거쳤기 때문에 리스크 선정의 신뢰도를 높여줄 수 있을 것으로 생각된다. 다만 수중활동으로 인한 리스크 항목 중 말단부위 혈류량 감소와 수분손실의 결과 증상은 근육 이상으로 동일하지만 그 원인은 상이하기에 삭제하지 않았다. King(2014)에 의하면 알코올보다 독성이 강한 아세트알데히드로 인해 피부혈관이 확장되어 체온손실이 발생하고 이로 인해 말단부위 혈류량이 감소하지만 수분손실의 경우 알코올 섭취로 인해 항이뇨호르몬 생성이 억제되고 많은 양의 수분이 소변으로 배출되면서 발생하는 것으로 발생 원인에 따라 별도로 구분하였다. 이와는 반대로 수중활동으로 인한 리스크 항목 중 근육 기능 이상과 심장 과부하 및 기능 이상은 그 원인이 수분손실로 동일하지만 결과 증상이 상이하기에 삭제하지 않았다. 이렇게 발생원인과 결과 증상이 상이할 경우 별도의 리스크 항목으로 정의하였기 때문에 발생 가능한 모든 리스크 항목들을 소분류까지 구체화 하였다고 사료된다.

향후 각 리스크 항목으로 선정된 세부 항목들은 중분류와 대분류라는 상위 범주에서 압력과 장비, 혹은 환경 등으로 그룹화(grouping)하여 핵심 키워드를 선정할 수 있도록 하였다. 그룹화와 핵심 키워드 선정은 유사한 리스크 항목에 대해 동일한 통제수단을 적용함으로써 비용과 시간을 절약하고 보다 효율적인 리스크 관리를 이끌어 낼 수 있을 것으로 기대한다. 그리고 대상리스크의 유관항목으로 기입되는 관련리스크는 발생가능성과 영향크기가 항목 별로 상이할 수 있으나 주관적인 판단에 따른 기준의 다양성 때문에 각 항목 별로 동일하게 적용하였다. Kim et al.(2018)에 의하면 알코올 섭취는 흥채 명암 조절 및 수정체 초점 능력을 둔화시켜 시각적 장애를 유발하지만 이 경우 스쿠버다이빙에게 중대하거나 치명적인 영향을 미치지 않는다고 한다. 반면에 독성이 강한 아세트알데히드는 내장혈관 수축 및 일시적인 혈압상승을 일으켜 심장 과부하 및 기능 이상을 초래하고 발생 시 스쿠버다이빙에게 중대하고 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 하지만 두 가지 항목 모두 대상리스크의 발생가능성 혹은 영향크기를 '1'만큼 증가시키는 것으로 한정함으로써 리스

크상관관계 분석 시 주관적인 판단을 배제하고 리스크 정량화를 위한 객관성을 확보하였다고 사료된다.

RAA 2단계인 리스크데이터베이스 구축은 대상리스크를 리스크 정량화 기준에 따라 발생가능성과 영향크기로 1에서 5까지 수치화하고 관련리스크의 영향을 기입하여 리스크수준 변화를 살펴보았다. 발생가능성의 정량화 기준을 살펴보면 탈수분화된 기체 흡입 항목처럼 대부분의 경우 발생할 것으로 생각되는 항목은 발생이 거의 확실할 것으로 판단하여 5의 수준을 기입하였으며 이와는 반대로 오염기체 흡입으로 인한 폐 손상 항목처럼 아주 예외적인 경우에만 일어날 수 있는 항목은 발생가능성이 희박할 것으로 판단하여 1의 수준을 기입하였다. 피해규모를 나타내는 영향크기의 정량화 기준은 수면의 높은 파도에 의한 피로도 증가 항목처럼 부상에 이르는 피해가 거의 없을 경우에는 1의 수준을 기입하고 반대로 사망에 이르는 거대한 피해로 영향크기가 치명적일 경우에는 5의 수준을 기입할 수 있도록 하였다.

관련리스크 적용 후 리스크수준이 증가한 항목을 살펴보면 수중활동 중 이상 호흡으로 인한 저산소증과 기절 항목은 Cederbaum(2012)이 도식화한 알코올 대사과정 중 알코올 1차 분해물인 아세트알데히드의 독성과 Lee(2012)에서 밝힌 코르티졸 분비에 따른 맥박과 호흡 증가, Chi(2004)에서 밝힌 엽산 감소로 인한 적혈구 기능 이상 등으로 리스크수준이 증가한 것으로 사료된다. Edmonds et al.(2015)가 언급한 수중활동 중 전정기관 기능 이상으로 인한 방향감각 상실 및 현기증 항목은 알코올 섭취로 인한 코르티졸 분비 촉진으로 소뇌의 운동기능 및 평형감각, 반사신경을 둔화시켜 리스크수준을 증가시킨 것으로 생각되며 수중의 특수한 환경적 요인에 의해 발생할 수 있는 공황 및 불안 등 심리적 질환 항목은 아세트알데히드의 독성으로 인한 체온손실과 구토 유발로 인하여 리스크수준이 증가한 것으로 사료된다. 그리고 수중활동 중 말단부위 혈류량 감소와 수분손실에 따른 근육 기능 이상 항목은 알코올 섭취 후 아세트알데히드의 독성으로 인한 체온손실과 코르티졸 분비에 따른 근육 기능 이상, 항이뇨호르몬 억제로 인한 수분손실로 인하여 리스크수준이 증가한 것으로 사료된다. 수중활동 중 수분손실에 따른 심장 과부하 및 기능 이상항목은 King(2014)이 언급한 바와 같이 알코올 섭취 후 아세트알데히드의 독성으로 인한 수분손실과 혈압증가로 인해 리스크수준이 증가한 것으로 생각되며 수중활동으로 인한 피로도 증가 항목은 Cederbaum(2012)이 밝힌 알코올 대사과정 중 피루브산의 젖산 전환에 의해 리스크수준이 증가한 것으로 사료된다. 마스크 이상 혹은 대기환경과는 다른 시각적 특성 차이로 인한 수중활동 중 시각 기능 상실 항목은 Kim et al.(2018)이 밝힌 알코올 섭취 후 흥채의 명암 조절 및 수정체 초점 능력 둔화로 인한 시각적



장애 유발로 인하여 리스크수준이 증가한 것으로 사료된다.

RAA 3단계인 리스크맵 분석은 리스크데이터베이스에 나열된 리스크 항목들을 매트릭스에 매핑 하는 것으로 관련리스크 적용 전과 후의 전반적인 리스크 분포 변화를 살펴 볼 수 있었다. 수중활동으로 인한 리스크 항목들이 알코올 섭취로 인해 고위험군은 11.5%에서 19.2%, 중위험군은 38.5%에서 42.3%로 증가하는 양상을 보여 알코올 섭취로 인해 전반적인 리스크수준이 증가한 것으로 사료된다. 기존에 고위험군으로 분류된 급격한 상승으로 인한 폐 손상(Graver, 2010), 이상 호흡으로 인한 저산소증 및 기절, 수분손실로 인한 심장 과부하 및 기능 이상과 더불어 전정기관 기능 이상에 따른 방향감각 상실과 현기증, 말단부위 혈류량 감소로 인한 근육 기능 이상이 고위험군에 새롭게 추가되었다. 이는 RAA의 리스크 정량화 분석을 통해 저위험군에서 중위험군, 중위험군에서 고위험군으로 이동한 항목들을 구체화하고 스쿠버다이빙에게 치명적인 고위험군을 분류하였다는데 의미가 있었다. 향후 고위험군 항목들 중에서도 우리의 리스크수용한계치(risk threshold)를 상회하는 항목들은 우선집중관리항목으로 지정할 수 있는 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

이처럼 정성적인 기준으로만 인식하고 있었던 수중활동에 의한 리스크와 알코올 섭취 후 변화하는 리스크수준을 객관적인 수치로 정량화함으로써 리스크수준 변화를 보다 쉽게 인식할 수 있었으며 향후 각 리스크에 대한 적절한 통제수단 적용으로 리스크수준을 낮추기 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 5. 결론 및 제언

본 연구는 알코올 섭취가 수중활동을 하는 다이빙에게 미치는 영향과 리스크수준을 정량적으로 비교 분석하기 위해 실시하였다. 이에 내부통제 프레임워크인 COSO II에 기초하여 새롭게 정립된 RAA 기법을 적용하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 수중활동을 하는 다이빙은 매 순간 위험에 노출되어 있으며 리스크 발생가능성과 영향크기(피해규모)에 따라 리스크수준을 정량화할 수 있다.

둘째, 알코올 섭취는 기존 수중활동이 지닌 리스크수준을 전반적으로 증가시켰으며 알코올 섭취 이전에 저위험군으로 분류되었던 항목이 알코올 섭취 이후에는 중위험군 혹은 고위험군으로 분류되었다.

셋째, 리스크 관리 측면에서 리스크수용한계치를 상회하는 고위험군 항목들을 우선통제대상으로 지정할 수 있다.

본 연구를 통해 나타난 결과는 알코올 섭취 후 행해지는

스쿠버다이빙에 대한 위험성을 명확하게 알리고 이에 대한 스쿠버다이빙의 의식 개선을 도모하여 보다 안전한 스쿠버다이빙 환경을 제시할 수 있을 것이다. 향후에는 스쿠버다이빙 사고 예방과 사후 통제에 관한 추가 연구를 통해 선진화된 리스크 관리 체계를 구축하고 효율적인 운영방안을 정립하여야 할 것으로 사료된다.

## References

- [1] Behnke, A. R., R. M. Thomson and E. P. Motley(1935), The psychological effects from breathing at 4 atmospheres pressure, *American Journal of Physiology*, 112(3), pp. 554-558 (<https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1935.112.3.554>).
- [2] Cederbaum(2012), Alcohol metabolism, *Clinical Liver Disease*, 16(4), pp. 667-685 (<https://doi.org/10.1016/j.cld.2012.08.002>).
- [3] Chi, J. G.(2004), *Medical Dictionary* (4th ed.), Korea Medical Book Publishing Company: Seoul.
- [4] Considine, G. D.(2005), Acetaldehyde, *Van Nostrand's encyclopedia of chemistry* (5th ed.), Wiley-Interscience: Hoboken.
- [5] Curtis, P. and M. Carey(2012), Risk assessment in practise, Committee of Sponsoring Organization of the Treadway commission (COSO).
- [6] Edmonds, C., B. Mckenzie and R. Thomas(2015), *Diving medicine for scuba divers* (6th ed.), North Steyne Manly: Ocean Royale.
- [7] Graver, D. K.(2010), *Scuba diver* (4th ed.), Translated by Kang S. Y., PDIC-SEI ASIA.
- [8] Howard, J. E. and N. M. Jeanette(2018), Alcohol dehydrogenases, aldehyde dehydrogenases and alcohol use disorders., *Alcoholism clinical & experimental research*, 15 October 2018 (<https://doi.org/10.1111/acer.13904>).
- [9] Kim, J. O., B. Y. Moon, D. S. Yu, S. Y. Kim, S. H. Lee and H. G. Cho(2018), Temporary Changes of Refractive Errors and Optical Components in Eyes after Alcohol Ingestion, *Journal of Korean Ophthalmic Optics Society*, 23(2), pp. 169-172 (<https://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.2.169>).
- [10] King, M. W.(2014), *Integrative medical biochemistry examination and board review*, McGraw-Hill Education.
- [11] Lee, U. J.(2012), *Lee's medical dictionary*, Koonja: Seoul.
- [12] Ministry of oceans and fisheries(2018), Available at: <http://www.mof.go.kr> (Accessed 15 September 2018).
- [13] Ministry of the interior and safety(2018), Available at: <http://www.mois.go.kr> (Accessed 15 September 2018).

- [14] Mount, T.(2003), Technical diver encyclopedia (2nd ed.), Translated by Kang S. Y., IANTED Korea.
- [15] National law information center(2017), Act on the safety, promotion, etc. of underwater leisure activities, Available at: <http://www.law.go.kr> (Accessed 15 September 2018).
- [16] NOAA(2001), NOAA diving manual Diving for science and technology (4th ed.), Best publishing company.
- [17] Sacks, F. M. and M. K. Jensen(2018), From High-Density Lipoprotein cholesterol to measurements of function: Prospects for the development of tests for High-Density Lipoprotein functionality in cardiovascular disease, Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology, Medline.
- [18] Stacy, A. W., M. D. Newcomb and P. M. Bentler(1991), Cognitive motivation and drug use: A 9-year longitudinal study, Journal of Abnormal Psychology, 100(4), pp. 502-515 (<https://doi.org/10.1037/0021-843x.100.4.502>).
- [19] Unsworth, I. P.(1966), Inert gas narcosis-an introduction, Postgraduate Medical Journal, 42(488), pp. 378-385 (<https://doi.org/10.1136/pgmj.42.488.378>).

---

Received : 2019. 01. 14.

Revised : 2019. 02. 25. (1st)

: 2019. 03. 08. (2nd)

Accepted : 2019. 04. 26.