

잠수함 실내공기질 계측 실험 결과 분석 및 연구

김영호^{1*}, 장호성¹, 김규민²

¹국방기술품질원 함정센터 함정1팀, ²국방기술품질원 함정센터 함정2팀

A Study of Indoor Air Quality Measurement and Result for Naval Submarine

Yung-Ho Kim^{1*}, Ho-Seoung Jang¹, Kyu-Min Kim²

¹1st Naval Sea System Team, Defense Agency for Technology and Quality

²2nd Naval Sea System Team, Defense Agency for Technology and Quality

요약 잠수함은 운용특성 상, 장시간 수면 아래에서 작전을 수행하므로, 기계적인 환기에 의존할 수밖에 없다. 해군에서는 환경 관리 규정을 제정하여 승조원들의 근무환경 개선에 노력하고 있으나, 잠수함에 맞는 공기질 측정 방식이나 오염물질 제거를 위한 대책은 미비하다. 본 연구에서는 잠수함의 각 지점별로 미세먼지, 초미세먼지, 휘발성 유기화합물, 총 부유세균에 대해 측정하고, 승조원 활동이 잦은 공간을 선정하여 항해 상황별 연속 측정을 수행하였다. 측정결과, 미세먼지, 초미세먼지는 측정기간 동안 기준치 이내로 검출되고 있음을 확인하였다. 승조원 식당에서는 총 부유세균이 기준치 이상으로 검출되었으며, 휘발성 유기화합물은 무장실을 제외한 전 지점에서 기준치 이상의 농도가 검출되었다. 또한, 연속측정 결과 측정을 시작한 시점부터 종료시점까지 휘발성 유기화합물의 농도가 지속적으로 증가하였다. 본 연구에 의해 도출된 측정 결과를 토대로 차기 잠수함 건조 시, 상세 설계단계에서부터 오염물질 제거를 위한 장비 및 설비를 선정해야하며, 해군 함정에 맞는 유해물질의 종류와 그 기준의 정립을 위해 지속적인 측정을 통한 데이터 축적과 연구가 필요하다.

Abstract Submarines operate underwater for long periods, so they have no choice but to rely on mechanical ventilation. The Navy is making efforts to improve the working environment of submarine crew by enacting environmental management regulations, but the method to measure air quality exclusively for submarines or remove pollutants is insufficient. In this study, air pollution, such as PM10, PM2.5, tVOCs, and total airborne bacteria, were measured in each compartment. In particular, a cabin with a large amount of activity of crew members was selected, and PM10 and PM2.5 were detected continuously within the standard during the measurement period. The total airborne bacteria were detected above the standard in the crew dining room, and tVOCs were detected at all points except the armed room. Continuous measurements confirmed that the concentration of tVOCs continued to increase from the start to the end of the measurement. Based on these results, equipment for removing pollutants should be selected in the design stage. In addition, continuous data accumulation and research will be needed to establish standards for harmful substances suitable for Naval Vessel measurements in each navigation situation of submarines.

Keywords : Indoor Air Quality, Naval Submarine, tVOCs, PM10, PM2.5, Total Airborne Bacteria, Measurement

*Corresponding Author : Yung-Ho Kim(Defense Agency for Technology and Quality.)

email: yhkim1401@dtqa.re.kr

Received April 18, 2022

Accepted July 7, 2022

Revised May 18, 2022

Published July 31, 2022

1. 서론

1.1 연구 배경

1.1.1 실내공기질 관리

신선한 공기는 삶의 가장 기본적인 요구조건이다. 사회적으로 생활환경의 수준이 점진적으로 높아지면서, 실내공기의 오염은 중요한 사회적 관심사로 등장하고 있으며, 사회가 빠르게 발전 할수록 현대인들의 생활은 대부분 실내에서 이루어지기 때문에 실내 공기 품질에 대한 관심은 더욱 증가하고 있는 상황이다. 산업화로 인한 대기오염과 기술의 발달로 복사기, 프린터, 컴퓨터 등 사무기기 등에서 새로운 오염물질을 배출시키는 결과를 가져왔다. 현재 환경부에서는 실내공기질에 대해 「실내공기질 관리법」을 통해 권고하고 있으며 학교나, 사무실, 강당 등의 육상 위치에서 실내 공기질에 대하여 규정하고 있다. 또한, 최근 연구 동향에 따르면 실내공기질 관리법이 2020년 4월 강화되어 대중교통차량에 공기질 측정이 의무화 되었으며 새로운 건물을 건축할 때에도 친환경 소재의 사용이나, 환·급기를 원활하게 할 수 있는 설계공법들이 연구되고 있다. 그러나 국방 및 함정 분야에서는 실내공기질 관리법에 따라 관리 수준에 머무르고 있으며 특히 잠수함 실내공기질 환경 개선에 대한 연구 자료가 미비한 실정이다.

1.1.2 함정에서의 공기질 관리

실내공기질에 대한 사회적 관심에 부응하여 해군에서도 해상에서의 함정근무를 수행하는 데 있어서 소음, 진동, 격실 등의 실내공기질에도 관심을 기울이고 있다[1]. 수상함 설계/건조 기준에서는 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'을 기준으로 하여 함정의 실내 공기 내의 유해물질에 대해 규정하고 있다. 1997년에 제정한 해군환경관리 규정에서는 건축물 또는 시설에 대해 연간 1회 이상 실내공기질을 측정하도록 규정하고 있으며, 함정에서도 호선별 교차하여 측정하도록 하고 검사 결과를 매년 보고하고 후속조치를 수행하도록 규정하고 있다[2]. 그러나 규정된 기준치가 현행 환경부 관리기준과는 다소 차이가 있음을 아래 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Comparison of Naval Regulation and Environmental Standard.

Element	Criteria(Max)	
	Naval	Environmental
PM ₁₀	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM _{2.5}	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
HCHO	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
tVOCs	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	0.1 ppm	0.1 ppm
TAB	800 CFU/m ³	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

1.1.3 잠수함에서의 공기질 관리

업무 특성 상 출항에서부터 입항할 때 까지 장시간 수면 아래에서 작전을 수행해야하는 잠수함의 경우에는 상당한 기간 동안 외부 공기와의 단절이 일어나므로 승조원의 근무환경에 큰 영향을 끼친다. 잠수함 내부의 공기는 스노클 항해 중 발생하는 디젤엔진 배기가스의 유입, 각종 기계장비에 사용되는 유류와 윤활유의 증발이나 분산, 배터리 충전에 따라 발생하는 수소가스의 누출, 승조원들의 호흡이나 음식물 조리에서 나오는 오염물 등이 혼합되어 있다. 또한, 함 인도전 최종 의장 및 도장작업이 종료 된 후, 최종 청결검사를 수행하고 있으나, 정량적 기준 및 객관적 Data에 의한 판단보다 승조원이나 담당자의 정성적인 판단에 의존하게 되므로 실내 환경 품질에 대해 승조원의 불만이 존재할 수 있다.

국내 잠수함은 설계단계에서 승조원의 생활환경을 위해 실내공기질을 일정 이상으로 유지할 수 있도록 규정하고 있으나, 운용 특성 상 실내공기질 현황 및 개선에 대한 연구 자료가 미비하다. 잠수함 설계/건조 기준에서는 실내공기질 관리 기준으로서 상시 관리항목과, 추적 관리항목으로 구분하고 있다[3]. Table 2에 서술한 바와 같이 상시 관리항목의 오염물질에 대해서는 관리기준에 맞게 유지하기 위해 함 내 구역별로 설치된 센서를 통해 '중앙가스감시장치'로 오염물질의 농도가 실시간으로 전송되고 이를 전투지휘실에서 상시 모니터링이 가능하다. 추적 관리항목에 대해서는 설계 단계에서 관리 가능 항목을 선정하고 이를 제거하기 위한 설비나 장비를 설치하도록 규정하고 있다. 본 연구에서의 주요 연구절차를 아래 Fig. 1에 나타내었다. 현재 건조중인 000급 잠수함의 실내공기질을 조사·분석하여 승조원들이 쾌적한 실내 환경에서 업무수행할 수 있도록 하며, 향후 차기 잠수함의 건조 시 설계 단계에서부터 효율적인 실내공기질 관리 방안을 도출하는 것이 주된 목적이다.

Table 2. Naval Submarine's Design/shipbuilding Standards, "Criteria for Indoor Air Pollution"

(a) Constant Management Items	
Element	Criteria
O ₂	18 ~ 21 %
H ₂	n ≤ 2.0 %
CO ₂	n ≤ 0.5 %
CO	n ≤ 30 ppm
Refrigerant	n ≤ 100 ppm
(b) Tracking Management Items	
Element	Criteria
NO ₂	n ≤ 0.5 ppm
PM ₁₀	n ≤ 150 ppm
tVOCs	n ≤ 40,000 μg/m ³
HCHO	n ≤ 0.3ppm
C ₆ H ₆	n ≤ 0.0093 ppm
C ₇ H ₅	n ≤ 0.27 ppm
C ₈ H ₁₀	n ≤ 0.08 ppm
TAB	-

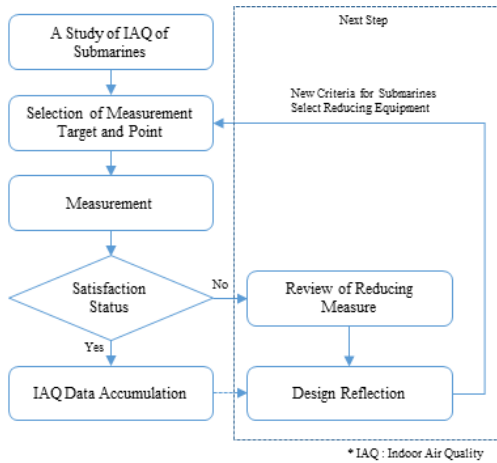


Fig. 1. Research Conceptual Diagram

2. 본론

2.1 측정 개요

2.1.1 조사 대상 및 기간

000급 잠수함 중 건조 중인 잠수함 한 척을 대상으로 24시간 측정을 수행하였다. 측정위치는 함정 설계/건조 기준에서 권장하는 근무 구역 중 최대 인원이 재실 할 것

으로 예상되는 격실 및 함정 구조 및 격실 위치 등의 이유로 통풍이 불량할 것으로 예상되는 격실을 기준으로 하여 총 6개 지점을 선정하였으며, Fig. 2에서 각 격실별 측정 지점을 나타내었다. 각 격실별 명칭은 함미에서부터 시작하여 기관실(E/R), 기관제어실(TCC), 전투 지휘실(CCC), 승조원 거주구역(Accommodation), 승조원 식당(M/R) 및 무장실(W/R)로 선정하였다.

잠수함의 항해 형태는 크게 수상항해, 스노클항해, 수중항해로 나눌 수 있는데 이 때 측정 구역 중 승조원 식당과 전투 지휘실에서는 시간 별 잠수함의 항해 상황을 구분하여 연속적으로 측정을 수행하였다.

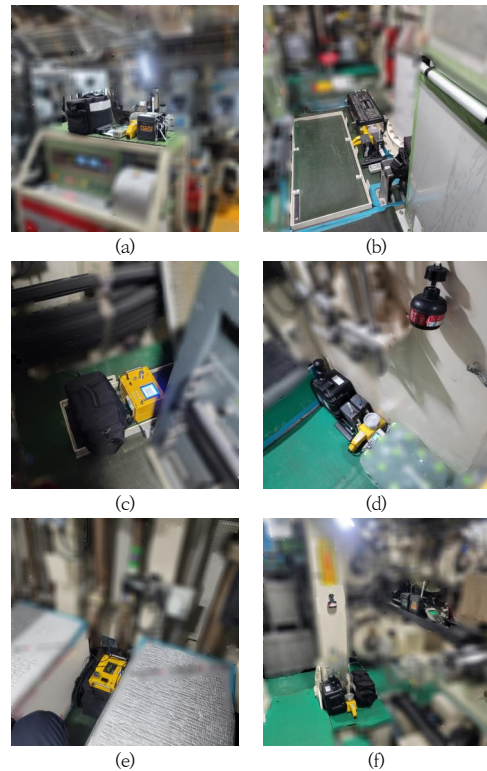


Fig. 2. Measurement Point of Submarine

(a) E/R (b) TCC (c) CCC (d) Accommodation (e) M/R (f) W/R

2.1.2 측정 항목의 선정

서론에서 기술한 바와 같이 상시 관리항목으로 지정된 산소, 수소, 이산화탄소, 일산화탄소, 냉매와 같은 오염 물질은 대기 감시계통을 통해 농도를 실시간으로 확인할 수 있는데 비해 추적 관리항목의 경우에는 포함된 오염 물질 중 관리 가능한 항목을 선정하고, 선정된 오염물질을 제거할 수 있는 장비를 설치하도록 권고하고 있다. 그러다보니 실제 잠수함에 설치된 장비로는 추적 관리항목

에 포함된 모든 오염물질을 관리하기가 어렵고, 이에 따라 특정 오염물질에 대해 사각지대가 존재하는 것이 현실이다.

공기에 대한 국민적 관심이 이어지면서 미세먼지와 초미세먼지는 우리 모두에게 익숙한 공기 중 오염물질이다. 일반적으로 미세먼지, 초미세먼지와 같은 입자성 물질은 호흡기 계통에 영향을 주며, 장기적으로 노출되었을 경우 호흡기 계통에 염증이거나 기관지염, 심하면 폐암에 까지 영향을 미친다.

함 내부 시공자재, 도장이나 장비 등에서 발생하는 물질, 기관실의 연소가스와 같은 화합물로, 휘발성 유기화합물(VOC, Volatile Organic Compound)이라고 불린다. 이와 같은 오염물질은 끓는점이 50~240 ℃ 사이에 존재하는 지방족, 방향족 탄화수소, 알데히드, 케톤류 등이 포함되며 대기 중에서 질소산화물과 함께 라디칼 반응을 일으켜 오존 등을 생성하기도 하고 벤젠과 같은 물질은 발암성물질로서 인체에 매우 유해하다. 또한 스티렌을 포함하여 대부분의 휘발성 유기화합물은 악취의 주원인으로 분류할 수 있다.

잠수함의 설계/건조기준에서는 총 휘발성 유기화합물은 추적 관리항목으로 규정하고 있는데 WHO에 따르면 휘발성 유기화합물의 독성은 인체 중추신경계를 억제하는 작용을 하며, 피로나 집중력 장애를 가져오는 기질적 정서 증후군이나, 경우에 따라 독성 뇌병증을 초래하기도 한다. 유럽 공동연구위원회에서는 휘발성 유기화합물 위해성 평가를 통해 인체에 미치는 영향에 대해 Table 3과 같이 분류하였다. 휘발성 유기화합물은 농도가 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하일 경우 인체에 영향성이 없으며, 일반적으로 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도에서 불쾌감을 호소하며 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 농도에서는 실내 인원의 약 20 % 정도가 가벼운 두통과 같은 증상을 호소하게 된다. 본 연구에서는 실시간 대기 감시계통으로 관리가 가능한 항목 이외에 인체에 치명적일 수 있으나 실시간으로 감시되지 않는 미세먼지와 휘발성 유기화합물, 총 부유세균에 대해 측정을 수행하였다.

Table 3. Effect of VOC Concentration on the Human Body

VOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Effect
300	-
300 ~ 3,000	Low Health Effect
3,000 ~ 25,000	High Health Effect
25,000	Toxic Range

2.1.3 시료채취 및 분석방법

실내공기질은 온도와 상대습도에 의해 측정값이 변화되기 쉽다. 일반적으로 실내에서의 온·습도 조건으로는 미국 냉·난방 공조협회(ASHRAE, American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineering)의 경우 20~60 %, NIOSH는 30~60 %, 일본에서는 온·습도 조건을 40~70 %이내에서 권고하고 있다.

Table 4. The Standard of Temperature and Humidity for Indoor Air Quality Measurement

Standard No.	Temperature(℃)	Humidity(%)
ASHRAE 55	21~23(Winter)	20~30(Winter)
	23~26(Summer)	50~60(Summer)

Table 5. Optimum Temperature by Humidity

Humidity(%)	Temperature(℃)
30	22.2 ~ 25.6
40	21.7 ~ 23.3
50	21.1 ~ 24.4
60	20.6 ~ 23.9
70	20.0 ~ 23.3

Table 4는 미국 냉·난방 공조협회에서 제시하는 온·습도 측정 기준이며 Table 5는 습도별 최적 온도에 대한 기준이다. 군부대시설 및 함정에서는 산업안전보건법 및 실내공기질 관리법에서 온·습도 기준을 별도로 규정하고 있지 않으므로 국제적으로 널리 인용되고 있는 ASHRAE 규정을 인용하였다.

Table 6. Measurement Method of Each Element

Element	Measurement Method
PM ₁₀	Weight
PM _{2.5}	Weight
HCHO	HPLC
CO ₂	NDIR
CO	NDIR
tVOCs	GC-FID
NO ₂	Chemiluminescence
TAB	Crash

Table 6은 본 연구에서 조사할 오염물질의 측정 방법

을 나타낸 것이다. 시료채취 및 분석은 「사무실 공기관리 지침」 및 「실내공기질 관리법」 제 4조의 규정에 의한 「실내공기질공정시험기준」을 준용하여 시행하는 것을 원칙으로 하였으며, 측정의 기준은 상기 서술했던 Table 1의 해군 환경관리 규정의 잠수함 실내공기질 관리항목 및 기준을 준용하였다.

단, 전투지휘실 및 승조원식당에서는 미세먼지, 초미세먼지, 휘발성 유기화합물질의 시간별 추이를 살펴보기 위해 24시간 연속측정을 통해 매 시간별 오염물질 농도의 특성을 확인하였다.

아래에 나타낸 Fig. 3은 000급 잠수함의 실내공기질 측정에 사용된 장비이다. 선정된 측정지점에는 각 오염물질별 계측장비를 비치하여 측정을 수행하였다. (a)는 토탈엔지니어링(주)에서 제작한 미세먼지 측정기이며 대기 중의 미세먼지 및 초미세먼지를 수집하는 장비이다. (b)장비는 PBI 인터네셔널에서 제작한 세균곰팡이 계측장비이며 잠수함 실내에 부유하는 세균을 측정하는 장비이다. (c)장비는 A.P BUCK INC에서 제작한 시료채취펌프인데 이를 통해 실내의 휘발성 유기화합물을 측정하는 장비이다. 마지막으로 (d)는 (a),(c)장비의 기능이 포함되어있는 종합측정기이며 미세먼지 및 초미세먼지 휘발성 유기화합물을 측정하는 장비이며 (주)센서로닉에서 제작하였다. 내장된 미니프린터를 활용하여 전투 지휘실과 승조원 식당에서 24시간 연속으로 오염물질을 수집·분석한다. 해당 계측장비 별 간략한 제원에 대하여 Table 7에 나타내었다.



Fig. 3. Measuring Equipment of Indoor Air Quality
(a) BMW-3500 (b) SAS HiVAC (c) LP-1 (d) GSR-310

Table 7. Specification Table of Measuring Equipment

Equipment	Size(mm³)	Weight(kg)
BMW-3500	340 × 320 × 162	4
SAS HiVAC	150 × 200 × 100	3.5
LP-1	114 × 102 × 50	0.6
GSR-310	170 × 210 × 160	2

2.2 측정 결과

2.2.1 장소별 측정결과

Table 8. Temperature and Humidity of Each Submarine Section

Location	Temperature(°C)	Humidity(%)
Accommodation	22	52
W/R	21	54
TCC	24	52
M/R	22	54
CCC	23	53
E/R	26	53

Table 8은 잠수함의 장소별 측정 시, 각 격실의 온도 습도 조건을 나타내었으며, 측정 시간동안 큰 변동 없이 유사한 온도 습도 조건을 유지하였다.

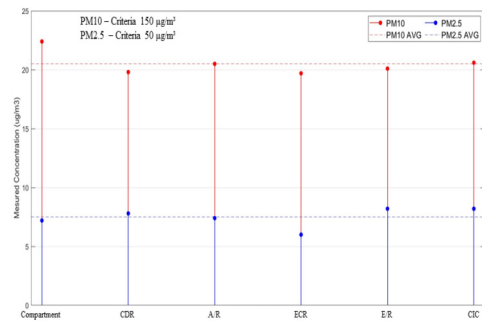


Fig. 4. Measurement Result of PM10 and PM2.5

Fig. 4에서는 잠수함 각 측정 장소별 미세먼지와 초미세먼지 농도를 나타내었다. 붉은 색 선으로 표시된 미세먼지의 경우 측정이 진행된 전 지점에서 기준치인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 확인되었으며, 기관제어실에서 최저농도인 19.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 승조원 거주구역에서 최대농도인 22.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 계측되었다. 초미세먼지의 경우에도 전 지점에서 실내공기질 기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 확인되었으며 기관제어실에서 최저농도인

6.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 기관실과 전투 지휘실에서 최대 농도인 8.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 계속되었다.

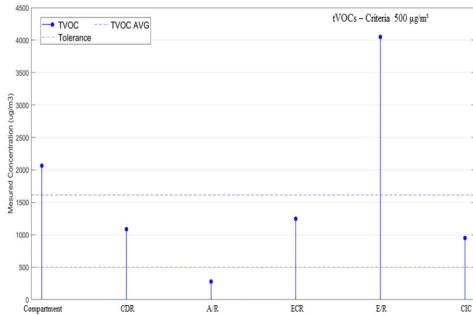


Fig. 5. Measurement Result of tVOCs in Each Point

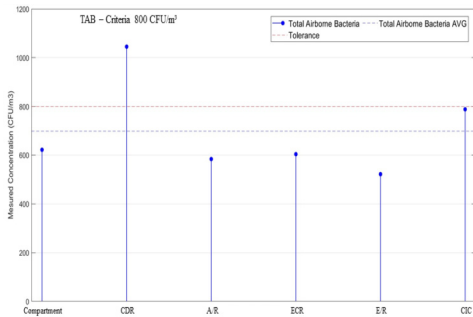


Fig. 6. Measurement Result of TAB in Each Point

Fig. 5는 잠수함 측정 장소별 휘발성 유기화합물 농도를 나타낸 그림이다. 휘발성 유기화합물은 무장실에서 278.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치를 만족하였으나 그 외 전 지점에서 기준치를 초과하여 계속되었으며 기관실에서 최대 농도인 4,049.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 계속되었는데 이는 디젤엔진의 연소과정에서 발생한 연소가스와 질소산화물 등이 큰 요인으로 판단된다.

Fig. 6은 잠수함 측정 장소별 총 부유세균에 대해 나타내었다. 대부분의 측정 지점에서 기준치 이내의 농도가 계속되었으나 승조원 식당에서 측정한 결과 1,045 CFU/ m^3 으로 기준치를 초과한 농도가 계속되었다.

2.2.2 항해상황별 측정결과

아래 Fig. 7은 승조원 식당에서 측정한 미세먼지 및 초미세먼지 농도를 나타내었다. 미세먼지는 측정기간 동안 기준치인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 농도를, 초미세먼지는 측정기간 동안 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 농도를 만족하였는데, 잠수함이 부상하여 스노클을 수행하는 동안 외부공기가 유입되더라도 미세먼지 농도의 변화에는 큰 영향을 주지

않는 것을 확인하였다.

Fig. 8에서는 항해 시간별 승조원 식당의 휘발성 유기화합물 농도를 나타내었다. 최초 측정값은 기준치인 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 1,016 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 스노클을 통해 외부공기가 유입되었음에도 불구하고 측정기간 동안 지속적으로 증가하여 최대 1,116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하는 것을 확인하였다.

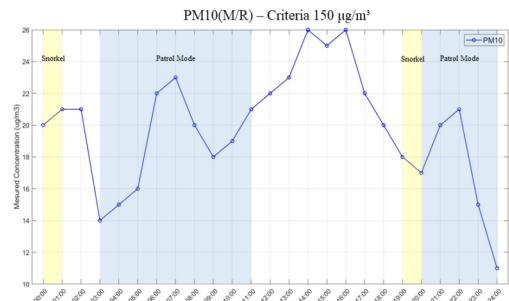
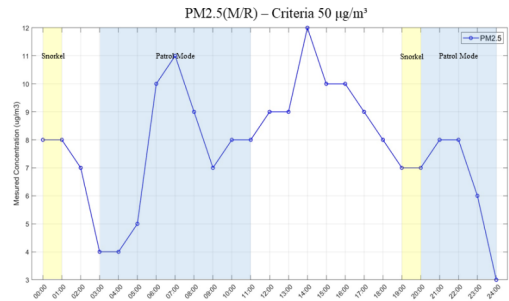


Fig. 7. PM2.5 and PM10 Measurement of M/R

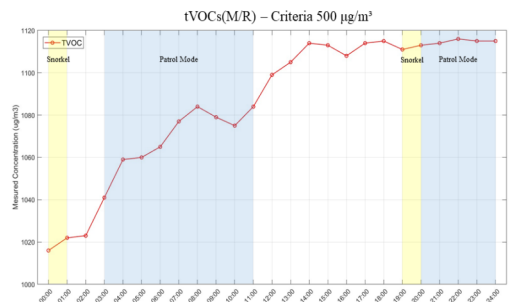


Fig. 8. tVOCs Measurement of M/R

Fig. 9에서는 전투 지휘실에서 측정한 미세먼지 및 초미세먼지 농도를 나타내었다. 승조원 식당에서와 마찬가지로 미세먼지와 초미세먼지는 승조원 식당에서와 같이 스노클을 통해 외부 공기를 유입시키더라도 잠수함 내부의 공기 농도에는 큰 영향을 미치지 않으며 측정기간 동안 기준치를 만족하였다.

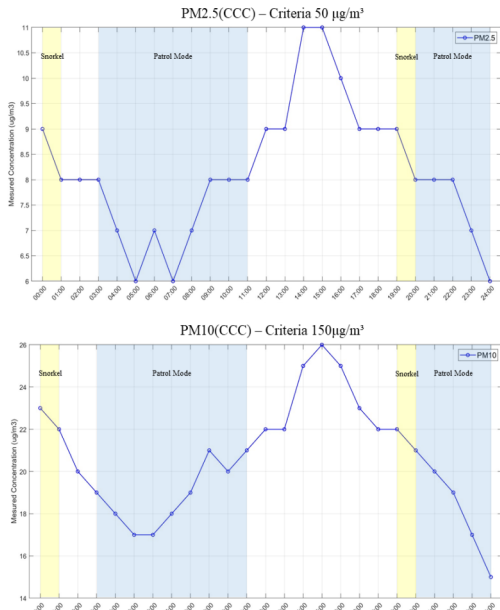


Fig. 9. PM2.5 and PM10 Measurement of CCC

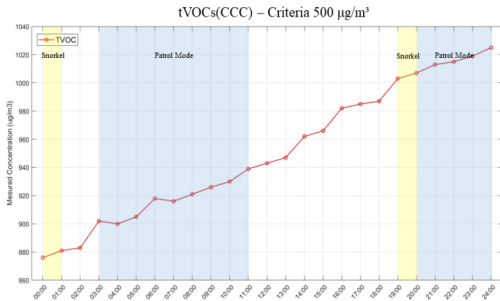


Fig. 10. tVOCs Measurement of CCC

Fig. 10에서는 항해 시간별 전투 지휘실에서의 휘발성 유기화합물 농도를 나타내었다. 최초측정값은 $876 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 승조원 식당에 비해 다소 낮은 농도가 계속되었으나, 기준치인 $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 농도가 계속되었으며 항해기간 동안 최대 $1,025 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하여 승조원 식당에서의 측정 결과와 마찬가지로 스노클에 의한 외부 공기 유입과 관계없이 지속적으로 농도가 증가하는 것을 확인하였다.

2.3 측정 결과의 고찰

측정결과 위치, 격실별 재실자의 수 등의 특성에 따라 오염물질의 상대적인 농도차이는 있으나, 미세먼지와 초미세먼지의 경우 각각 평균농도가 $20.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기관실에 설치된 오염제거모듈의 효과로 인해

측정기간 동안 실내공기질 관리기준을 만족하는 것으로 계속되었다.

총 휘발성 유기화합물의 농도는 기관실에서 최대 $4049.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 계속되었는데 휘발성 유기화합물의 발생원은 다양하나, 건축자재의 시공 측면에서 봤을 때, 접착제나 페인트 등에서 오염물질을 방출하게 된다. 또한 기관실 내 디젤엔진의 연소과정에서도 다량의 연소가스와 함께 휘발성 유기화합물질이 방출되는데 기관실 내의 연소가스에 의한 오염 또한 원인 중 하나로 판단된다.

총 부유세균의 경우 승조원식당에서 최대 $1,045 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 계속되었는데 이는 식사 등의 이유로 인해 한정된 공간에 일시적으로 승조원들이 밀집된 것이 원인으로 판단된다.

3. 결론

본 연구는 주요 실내공기 오염물질인 미세먼지, 초미세먼지, 휘발성 유기화합물을 비롯하여 총 부유세균의 함 내 공기 중 농도에 대하여 조사 분석하였다.

지점별 측정 결과 실내공기오염물질 중 총 부유세균 및 총 휘발성 유기화합물의 경우 관리 기준을 초과하는 수준으로 측정되었다. 한정된 공간 내에서 활동하는 인원이 밀집되어 있는 상황이 빈번한 승조원 식당의 경우 총 부유세균이 기준치를 초과하여 측정되었으며, 측정기간 동안 함정 내 휘발성 유기화합물은 무장실을 제외한 전 지점에서 기준치를 초과하는 양상을 보였다.

연속 측정결과 스노클 항해를 통해 외부 공기를 유입시켜 공기를 순환시키는 것과 관계없이 미세먼지, 초미세먼지와 같은 입자상 물질은 오염제거모듈의 작동으로 인하여 측정기간 동안 특이사항 없이 기준치 미만의 농도를 보였으나, 휘발성 유기화합물의 경우 측정 시작부터 종료 시점까지 지속적으로 농도가 증가하는 양상을 보였다. 특히, 신규 건조 중인 함정이기 때문에 시공자재 및 도료 등에서 방출되는 물질의 영향도 이미 운용하고 있는 잠수함에 비해 높을 것으로 예상된다. 또한 수상항해 동안 스노클을 수행하였으므로, 잠항 상태에서 스노클을 수행했을 때, 유입되는 외부 공기로 인한 영향에 대한 추가적인 검토가 필요하다고 판단된다.

잠수함은 한정된 공간에 장비들이 설치되며 이로 인해 새로운 장비를 추가하기에 제한사항이 다수 존재한다. 또한 실내공기질 개선을 위한 상용 제품들이 개발되어 있으나, 충격 및 소음기준을 만족할 수 있는 잠수함에 특

화된 내부 휘발성 유기화합물을 저감시키기 위한 재처리 장치 등의 설치가 필요하다.

매년 잠수함 승조원의 지원자 숫자가 줄어들고 있는 것에는 근무환경에 대한 문제도 분명 존재할 것이다. 잠수함 내부의 고질적인 환경문제를 개선하기 위해서는 설계단계에서부터 적절한 장비의 반영은 물론, 적절한 측정지점을 선정하여 지속적으로 실내 공기질측정을 수행하여 데이터를 축적하고 규정화/명문화를 위한 연구 및 지속적인 데이터 축적이 필요하다.

References

- [1] S. J. Lee, *A Study on the Indoor Pollution Level in Submarine*, Master's thesis, Chang-Won University of Science and Technology, Chang-won, Korea, pp.1-3, 2004.
- [2] Naval Environmental Management Regulations, "Hazardous Environmental Management", Republic of Korea Navy, pp.80-83, Nov. 2020.
- [3] Naval Ship's Design/Shipbuilding Standards, "Criteria for Indoor Air Quality Control" Republic of Korea Navy, March. 2019.
- [4] J. C. Kim, "Trends and Control Technologies of Volatile Organic Compound", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol.22, No6, pp.743-757, Dec. 2006.
- [5] S. S. Kim, "Importance and existing stat of Indoor air quality in ship", *Korean Air Cleaning Association(Air Cleaning Technology)*, Vol.27, No3, pp.22-27, Dec. 2014.
- [6] G. Y. Doe, H. S. Lee, Y. G. Lee, H. K. Lee, "A Study on Indoor Air Quality in new ship", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, Vol.31, No5, pp.427-434, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.5394/KINPR.2007.31.5.427>

김 영 호(Yung-Ho Kim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2019년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

〈관심분야〉

소음, 진동, 추진체계, 내연기관, 환경

장 호 성(Ho-Seoung Jang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 부산대학교 전자전기통신공학과 (공학사)
- 2014년 12월 : 현대중공업 전기전자시스템사업부 전기구조 설계
- 2015년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원

〈관심분야〉

전투체계, 소나체계, 수증음향, EMI/EMC

김 규 민(Kyu-Min Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 경북대학교 전자공학부 (공학사)
- 2019년 8월 : 대구경북과학기술원 정보통신융합전공 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

정보통신, 국방