

새로 건조된 선박의 실내공기환경 조사 연구

† 도근영* · 이한석** · 이윤규*** · 이형기****

*한국해양대학교 해양공간건축학부 부교수, **한국해양대학교 해양공간건축학부 교수
*** 한국건설기술연구원 수석연구원, ****한국해양대학교 운항훈련원 교수

A Study on Indoor Air Quality in new Ship

† Geun-Young Doe* · Han-Seok Lee** · Yun-Gyu Lee*** · Hyong-Ki Lee****

*Division of Architecture and Ocean Space, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea
**Division of Architecture and Ocean Space, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea
*** Building & Urban Research Dept. Korea Institute of Construction technology, Koyang 411-712, Korea
**** Sea Training Center, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 새로운 환경문제로 실내공기 오염이 대두되면서 건축 실내공간뿐만 아니라 자동차, 지하철 등 육상의 교통시설 내부의 공기오염에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 해상 중요한 교통수단인 선박의 실내 공기오염에 대한 관심은 그리 높지 않다. 특히 선박은 일반 건축물에 비해 기밀성이 매우 높고 항해 중이거나 선상 근무시에는 오랜 시간을 선박의 실내에서만 생활하기 때문에 선박의 실내 공기질은 승선자의 쾌적성뿐만 아니라 건강을 위해 매우 중요한 요소이다. 이에 본 연구에서는 선박의 실내공기환경을 개선하기 위해 새로 건조된 선박을 대상으로 실내 공기질을 측정 분석하였다.

핵심용어 : 선박, 실내공기질, 휘발성유기화합물, 포름알데히드

Abstract : Indoor air pollution has been a critical issue as a new environmental problem and a significant amount of research has been performed on the indoor air pollution in buildings as well as those in means of transport such as automobiles, subways, and buses. The actual condition of indoor air pollution in ships, however, was not investigated. Because airtightness of a ship is very higher than a general building and the crew spend almost all the time in indoor space of the ship during underway, indoor air quality (IAQ) of the ship is very important for their comfortableness and health. In this paper, indoor air quality of a new ship is measured and analyzed for the improvement of IAQ in ships.

Key words : Ship, IAQ, VOCs, Formaldehyde

1. 서 론

최근 국내에서도 “새집증후군”이 새로운 환경문제로 대두되면서 실내공기의 오염에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 사회적으로도 웰빙에 대한 욕구가 커지면서 실내 공기질에 대한 관심도가 높아지고 있다. 이에 환경부는 지하생활공간의 공기질을 관리하기 위해 제정하였던 『지하생활공간공기질관리법(1996년 제정)』을 2004년 5월부터 『다중이용시설 등의 실내공기질관리법』으로 개정하여 시행하면서 기존의 지하생활공간뿐만 아니라 도서관, 박물관, 찜질방, 장례식장, 의료기관, 요양시설 등 다양한 시설의 실내공기질을 관리하기 시작하였다.

한편, 『다중이용시설 등의 실내공기질관리법』의 대상시설에 포함되지 않은 승용차, 버스, 지하철, 항공기와 같은 특수

실내 환경에 대한 연구조사는 매우 미약한 수준이나 새롭게 “새차증후군”이 대두됨으로써 환경부에서는 2006년중으로 “새차증후군”의 실태를 조사하여 대책을 마련하기로 해¹⁾ 승용차, 고속버스, 열차 등의 실내공기질에 대한 연구가 활발해지고 대책이 마련될 것으로 기대되고 있다.

그러나, 이들은 대부분 승용차, 고속버스, 열차 등과 같은 교통시설을 대상으로 하고 있으며 최근에 수요가 급속도로 늘고 여객선 등의 선박에 대한 관심은 아직 미미하여 선박 실내의 실내공기 오염실태를 파악하려는 연구는 극소수이다.²⁾ 특히 새롭게 건조된 선박 내부의 공기오염정도를 측정한 사례는 거의 전무한 실정이다. 선박의 경우는 다른 교통시설과 달리 선박의 특수성 때문에 실내 공기의 오염 가능성이 매우 높아 여객 및 승무원의 건강을 위협할 위험이 크기 때문에 『다중이용시설 등의 실내공기질관리법』의 확대 적용이나 선박의

† 교신저자 : 도근영(중신회원) gydoe@hhu.ac.kr 051)410-4583

** 중신회원, hansk@hhu.ac.kr 051) 410-4581

*** 정회원, yglee @kict.re.kr 031) 910-0351

**** 중신회원, hk @bada.hhu.ac.kr 051410-4201

실내공기질을 관리하기 위한 규정을 조속히 마련할 필요가 있으며 선박 실내공기질에 대한 실태파악 및 개선 대책 등에 대한 연구의 필요성이 매우 크다고 할 수 있다.

이에 본 연구는 선박의 실내공기질 관련법 확대 및 제정과 쾌적한 선박 실내공기환경을 조성하기 위한 기초 자료를 제공하기 위해 건조 후 3개월 정도 경과한 선박을 대상으로 선박 내부의 실내공기질을 측정 분석하였다.

2. 선박 실내공기환경의 특수성

육상에서 이용되는 일반 건축물(지상의 교통기관)에 비해 바다 위를 선박은 안전성, 공간적 제약 등에 의해 외피, 설비 등에 큰 차이가 있으며 이 때문에 실내의 공기환경은 일반 건축물의 실내공기환경에 비해 다음과 같은 특수성을 가지고 있다.

첫째, 일반 건축물에 비해 선박 외피의 기밀성이 매우 높다. 선박의 외피는 강제로 수침을 막기 위해 틈이 있어서는 안 될 뿐만 아니라 틈새바람의 원인이 되는 창은 면적이 작고 수밀 구조이며 거실의 문은 통로에 면해 있어 틈새바람이 거의 발생하지 않을 정도로 기밀성이 높아 일반 건축물의 냉난방 부하 계산에 반영하는 틈새바람의 영향을 선박의 경우는 무시하고 있다³⁾. 따라서 냉난방 부하에 큰 영향을 미치지만 실내 공기의 오염을 완화시키는 역할을 하는 틈새바람이 없다는 것은 환기설비에 이상이 발생하여 실내 공기가 오염될 경우 공기질이 악화될 가능성이 높다는 것을 의미한다.

둘째, 실내 공간의 제약 때문에 전공기방식의 공조가 대부분이지만 Return Duct가 없으며 복도를 통해 재순환 또는 배기하고 있다. 또한, 선박의 급기덕트 단면적은 일반 건축물의 급기덕트에 비해 작기 때문에 청소 등 유지관리가 어렵다. 즉 외피는 매우 기밀하지만 내부공간은 복도를 통해 연결되어 있기 때문에 어떤 공간에서 공기오염이 발생하면 선박 실내 전체로 확산될 가능성이 높으며 시간이 경과할수록 급기덕트 내부의 오염 등으로 실내의 공기질이 악화될 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

셋째, 장거리 항로의 크루즈선 등 여객선의 경우, 선박 실내에서 거주하는 시간이 일반 건축물 실내에서 거주하는 시간보다 길다. 특히 해양경찰, 해군, 어업지도 등 직업상 선상에서 근무하는 경우는 4박 5일 정도의 긴 시간을 선내에서 생활해야 한다. 지상 근무의 경우 하루 중의 대부분의 시간을 실내에서 근무한다고는 하나 식사시간이나 이동 등에 옥외로 나갈 기회가 많은 반면 선박을 이용하거나 선상 근무의 경우는 휴식, 식사, 이동 등도 대부분 선내에서 이루어지기 때문에 실내공기가 오염될 경우 승객과 승무원이 오염공기에 폭로되는 시간이 일반 건축물에 비해 훨씬 길다고 할 수 있다.

이와 같은 선박 실내공기환경의 특수성 때문에 실내 공기가 오염될 가능성이 높으며 실내 공기가 오염될 경우 쾌적성뿐만 아니라 승선자의 건강을 해칠 위험이 매우 크다. 따라서 선박의 실내공기오염 실태에 대한 현황 조사 및 공기질 개선 대책에 대한 연구가 시급하며 또 『다중이용시설등의 실내공기질

관리법』과 같이 선박의 실내 공기질 관리에 대한 규정도 조속히 마련되어야 할 것으로 사료된다.

3. 실내공기 오염물질 관련 기준

『다중이용시설등의 실내공기질관리법』은 다중이 이용하는 지하역사와 지하도상가를 대상으로 7개 오염물질에 대한 기준을 설정하고 실내공기질을 관리하던 『지하생활공간공기질관리법(1996년 제정)』을 2003년 5월에 개정하여 2004년 5월부터 시행하고 있는 것으로, Table 1에 나타내는 것과 같이 적용대상을 종전 지하역사, 지하도상가의 2개 시설 군에 도서관, 의료기관, 찜질방, 대규모점포 등 15개 시설 군을 추가하여 17개 시설 군으로 확대하였다. 또한 관리오염물질도 10가지 항목으로 확대하고 오염물질에 따라 유지기준과 권고기준으로 나누어 적용대상건물이 기준을 의무적으로 유지하도록 규제함으로써 실내공기질을 보다 체계적으로 관리하도록 하고 있다.

이와 더불어, 다중이용시설의 소유자 등은 실내공기질 관리에 관한 교육을 환경부 장관이 위탁하는 교육기관에서 받도록 의무화하고 있으며, 다중이용시설을 설치하는 자는 공기정화설비 및 일정 구조·기준의 환기설비를 설치하도록 의무화하고 있다. 뿐만 아니라 총휘발성유기화합물(TVOC), 포름알데히드 등의 오염물질을 기준 이상 방출하는 건축자재를 관계부처와 협의하여 고시하고, 다중이용시설에 사용하는 것을 금지하고 있다.

한편 새집증후군 등이 이슈화되면서 정부에서는 건강하게 살자는 국민의 욕구에 부응, 신축 공동주택의 실내공기질 관리규정을 신설해 시공이 완료된 신축 공동주택의 실내공기질의 측정결과를 입주 3일 전까지 시장·군수·구청장에게 제출하고 입주 3일 전부터 60일간 공동주택 관리사무소 입구게시판 및 각 공동주택 출입문 게시판에 공고토록 하고 있으며 우리나라 신축 공동주택의 실내공기질 실태조사 결과와 실측값을 반영한 인체 위해성 평가 결과, WHO 및 외국기준 등을 종합 고려하여 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준(Table 2)이 설정되었다.

또한, 건설교통부령으로 『건축물의 설비기준 등에 관한 규칙(2006년 2월 공포)』을 개정하여 신축공동주택에 시간당 0.7회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하는 것을 의무화하고 있다.

4. 측정 개요

4.1 측정대상

본 연구에서는 최근 문제가 되고 있는 새집증후군과 같은 문제가 선박에서도 발생하는가를 파악하기 위해 2005년 12월 조선사로부터 인도되어 성능점검 및 개런티수리를 거쳐 2006년 2월 공식적으로 취항한 한국해양대학교의 실습선인 한바다

Table 1 Indoor air quality standards of IAQ management act in public facilities

다중이용시설 기준	지하역사		지하도상가		대합실*		도서관등**		의료기관등***		실내주차장		단위
	유지 기준	권고 기준	유지 기준	권고 기준	유지 기준	권고 기준	유지 기준	권고 기준	유지 기준	권고 기준	유지 기준	권고 기준	
오염물질													
이산화탄소(CO ₂)	1000		1000		1000	-	1000	-	1000	-	1000	-	ppm/2시간
일산화탄소(CO)	-	9	-	9	-	9	-	-	-	9	9	9	
이산화질소(NO ₂)	-	0.05	-	0.05	-	0.05	-	0.05	-	0.05	0.05	-	
이산화황(SO ₂)	-	0.05	-	0.05	-	0.05	-	0.05	-	0.05	-	0.05	
포름알데히드(HCHO)	0.1		0.1		0.1	-	0.1	-	0.05	-	0.1	-	ppm/8시간
오존	-	0.06	-	0.06	-	0.06	-	0.06	-	0.06	-	0.06	
총휘발성유기화합물(TVOC)	-	500	-	500	-	500	-	500	-	400	-	500	μg/m ³ /2시간
총부유세균	800		800		800		800		800		800		CFU/m ³ /8시간
악취	2		2		2		2		2		2		도
라돈(Rn)		4		4		4		4		4		4	pCi/ℓ/2시간
부유분진(PM10)	150		150		150		150		150		150		μg/m ³ /8시간
납(Pb)		2		2		2		2		2		2	
카드뮴(Cd)		0.2		0.2		0.2		0.2		0.2		0.2	
석면		0.01		0.01		0.01		0.01		0.01		0.01	개/cc/8시간

* 여객자동차터미널 및 철도역사의 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 항만시설 중 대합실

** 도서관, 박물관, 미술관

*** 의료기관, 산후조리원, 장례식장, 보육시설, 유치원

호(Fig. 1)를 대상으로 하여 실내공기질을 측정하였다.

한바다호는 Table 3에 나타내는 것과 같이 길이 117.2m, 폭 17.8m, 총톤수 6,686톤으로 총 246명이 승선할 수 있다.

한바다호의 거주공간은 Fig. 2와 같이 선박운항을 책임지는 조타실과 학생 실습용 PC룸으로 구성된 NAV. BRI. deck, 고급 승무원의 숙소와 비상탈출용 보트 승선장이 있는 Boat deck, 승무원, 사관식당, 세미나룸, 공조 및 환기 기계실 등이 있는 Shelter deck, 메인 세미나실, 승무원 숙소 및 식당 등이 있는 Upper deck, 실습생 숙소와 식당 겸용 세미나실, 기관실 상부 등으로 구성된 Main deck, 실습생 숙소와 기관실 및 기관 제어실, 실습생 숙소 등으로 구성된 2nd deck의 6개 층으로 구성되어 있다.

실내공기환경 측정 장소는 한바다호 내부의 위치 및 실 종류 등에 따라 Table 4에 나타내는 것과 같이 14개소로 선정하

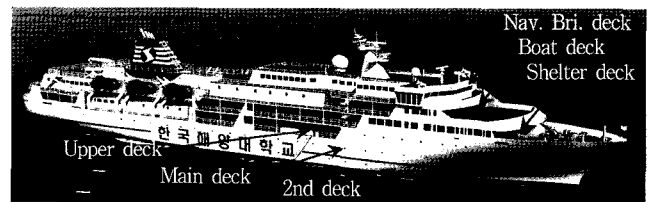


Fig. 1 The exterior of Hanbada

였다. 선박 실내공기환경 측정은 2006년 2월 22일에서 24일까지 한바다호의 운항 중에 한국건설기술연구원과 한국해양대학교가 공동으로 실시하였으며 운항 상황 및 운항 중의 외부 조건은 Table 5에 나타내는 것과 같다. 이때 한바다호에는 한국해양대학교 교원 연수회로 승무원을 포함하여 100여명이 탑승하고 있었으며 서귀포항에 정박하고 있을 때는 대부분의 인원이 상륙한 상태였다.

Table 2 Recommended standards of indoor air quality in newly built apartments

대상물질	WHO 및 외국기준 (일반주택 대상)	권고기준
포름알데히드	30~120 [μg/m ³]	210 [μg/m ³]
벤젠	16~110 [μg/m ³]	30 [μg/m ³]
톨루엔	260~1092 [μg/m ³]	1000 [μg/m ³]
에틸벤젠	1447~3800 [μg/m ³]	360 [μg/m ³]
자일렌	870~1447 [μg/m ³]	700 [μg/m ³]
스티렌	30~300 [μg/m ³]	300 [μg/m ³]

Table 4 The main capacity of Hanbada

용도	실습선	재질	강선
길이	117.20 m	폭	17.80 m
총톤수	6,686.0t	선급	KR
정원	총 246명 (승무원 42명, 실습생 204명)		
속력	Max.19, Av. 17.5 kts		

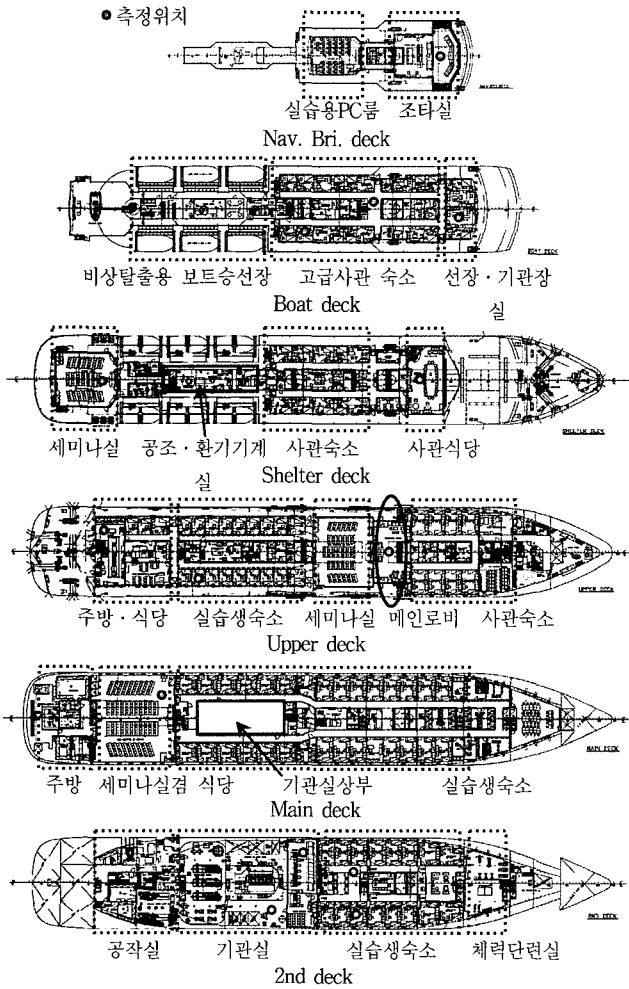



Fig. 2 Deck plan of Hanbada

Table 5 Condition of voyage and weather

운항시간	부산항 출항 2006. 2. 22. 14:42 부산항 입항 2006. 2. 24. 18:36 서귀포항 정박(투묘) 2006. 2. 23. 06:42~18:54
운항속도	평균 6.48Kts
외부조건	파 고 2~3m 풍 속 6~10m/s(북동풍 우세) 외기온 7~12℃

Table 4 Measurement points

deck	측정장소
Nav. Bri deck	조타실 


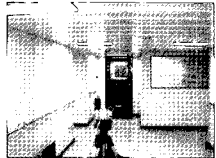
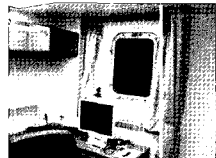


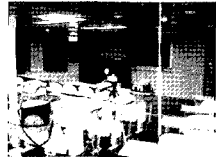


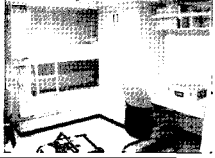

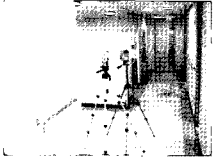



deck	측정장소	
Nav. Bri deck	조타실 	
Boat deck	복도 	침실 
	선장실 	
Shelter deck	살롱 	세미나실 
	복도 	침실 
Upper deck	취사실 	
	세미나실 	
Main deck	복도 	침실 
	기관실 	
2nd deck	엔진실 	

Table 6 The methods of measurement and analysis

측정항목	측정 및 분석 방법
휘발성 유기화합물 (VOCs)	- 구체흡착법 : 흡착튜브(Tenax-TA) 이용 - 3.0ℓ 2회 채취 [S-25(SIBATA, Japan)펌프] - 외부공기와 차단 후 4℃의 냉장고에 보관 - 열탈착 후(ATD 이용) GC/MS로 분석
포름알데히드 (HCHO)	- 2,4-DNPH cartridge를 이용 - 30분간 15ℓ 2회 채취 - 액상고속액체크로마토그래피(HPLC)로 분석
CO, CO ₂ , SO ₂	- Bruel & Lugaer Multi-gas monitor 이용 - 실중양, 5분 간격으로 6회 채취 평균값 산출
미세먼지	- 주사형 이동도 분석장치(SMPS; Scanning Mobility Particle Sizer)를 이용 - 실중양, 3분 간격으로 6회 채취 평균값 산출
부유세균 부유진균	- Andersen single-stage impactor (N-6 sampler, Jones et al., 1985)를 사용 - 28.3 ℓ/min의 유량으로 2분간 측정 - 중앙 바닥으로부터 1.2~1.5 m 높이 - 세균 : TSA 배지를 사용 37℃ incubator에서 24시간 배양 - 진균 : MEA 배지를 사용 25℃ incubator에서 5일정도 배양 3일째부터 계속 관찰 - CFU m ⁻³ 으로 결과를 산출
석면	- NIOSH 7400방법으로 공기 중 석면 포집 - 직경 25mm, 0.8μm 셀룰로우스 멤브레인 필터 사용 - 실중양 바닥으로부터 1.2~1.5 m 높이 - 10ℓ/min의 유량으로 1시간 동안 포집 - EDX(Kenovex 7000Q)가 장착된 투과전자현미경(Hitachi-7100FA)으로 분석
온도 상대습도	- 다기능 측정기 testo 435를 이용 - 실중양 높이 1.2~1.5m 위치 - 30분간 측정하여 평균값 산출
기류	- 다기능 측정기 testo 435를 이용 - 실중양 높이 1.2~1.5m 위치 - 10분간 측정하여 평균값 산출

4.2 측정항목 및 방법

측정항목은 총휘발성유기화합물(TVOC), 톨루엔(Toluene), 에틸벤젠(Ethylbenzene), 자일렌(Xylene), 스티렌(Styrene), 포름알데히드(Formaldehyde), 아세트알데히드(Acetaldehyde), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 이산화황(SO₂), 미세먼지, 부유세균, 부유진균, 석면의 14가지와 실내 공기질을 평가하기 위한 보조 자료로서 미세기후 인자(온도, 상대습도, 기류)를 함께 측정하였다. 측정항목별 측정 및 분석방법은 Table 6에 나타내는 것과 같다.

Table 7 Condition of thermal environment during the voyage

		온도(℃)	습도(%)	기류속도(m/s)
NAV.BRI. deck	조타실	24.3	21.6	0.78
Boat deck	복도	20.7	23.8	0.18
	침실	21.5	25.3	0.00
	선장실	22.4	24.4	0.14
Shelter deck	살롱	23.7	21.8	0.12
	세미나실	26.7	20.6	0.11
Upper deck	복도	22.9	21.9	0.85
	침실	24.5	22.4	0.12
	취사실	21.1	32.6	0.00
Main deck	세미나실	23.3	25.2	0.17
2nd deck	복도	25.3	22.5	0.09
	침실	23.7	24.1	0.06
	기관실	25.1	29.0	0.26
	엔진실	23.1	29.0	0.63
총 평균		23.5	24.6	0.25

5. 측정 결과

5.1 환경인자 측정결과

항해 중 한바다호 선내의 기온 및 습도, 기류속도를 측정된 결과를 각 측정 대상실 별로 평균한 값을 Table 7에 나타낸다. 측정 대상실의 기온은 20~27℃의 분포를 나타내고 있으며 Shelter deck의 세미나실이 26.7℃로 가장 높은 실온을 나타내고 있다. 이는 교수 연수회의 행사가 세미나실에서 진행된 영향이라 판단된다. 상대습도는 Upper deck의 취사실이 가장 높은 32.6%로 대부분이 30% 이하로 상대습도의 쾌적범위인 40~60%에 비해 매우 낮은 상태로 승선자에게 불쾌감을 줄 뿐만 아니라 구강점막의 건조나 감기바이러스의 활성화^{4),5)} 등에 의해 승선자의 건강을 위협할 수 있는 수준이다.

또한 3등 기관사가 실내 온도 및 상대습도 조절을 담당하며 운항 중의 온습도는 25℃ 내외, 60~65%로 유지하였다고는 하지만 실내 온습도에 대한 기록 규정이 없고 승무원의 느낌에 따라 담당자가 밸브를 미세하게 조절하여 컨트롤하기(대부분의 선박이 같은 방식임) 때문에 온습도조절 시스템이 필요한 상황이라고 생각된다.

한편, 선내 기류속도는 조타실과 Upper deck 복도의 기류속도가 다소 빠르게 나타났지만 대체적으로 0.5m/s 이하의 느린 기류속도였다. 선박의 특성상 실외측과 면한 개구부 면적이 작고 개구부의 기밀성능도 매우 높으며 운항시에는 실외측과 면한 개구부를 모두 밀폐시키기 때문으로 판단된다.

5.2 휘발성 유기화합물(VOCs) 측정 결과

총 휘발성유기화합물(TVOC)의 측정결과를 Fig. 3에 나타낸다. Upper deck의 취사실 및 복도와 Shelter deck의 세미나

실의 TVOC농도가 『다중이용시설등의 실내공기질 관리법』의 권고기준인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 상회하는 것으로 나타났다. 선박의 중상층 부위인 Upper deck와 Shelter deck의 TVOC농도가 다른 부위에 비해 상대적으로 높게 측정되었으며, 취사도구로 가득 찬 취사실이 가장 높은 농도를 보였다는 점과 내부가 목재와 카펫으로 마감된 Shelter deck의 세미나실의 농도가 타실보다 높게 나타났다는 점은 주목할 만하다.

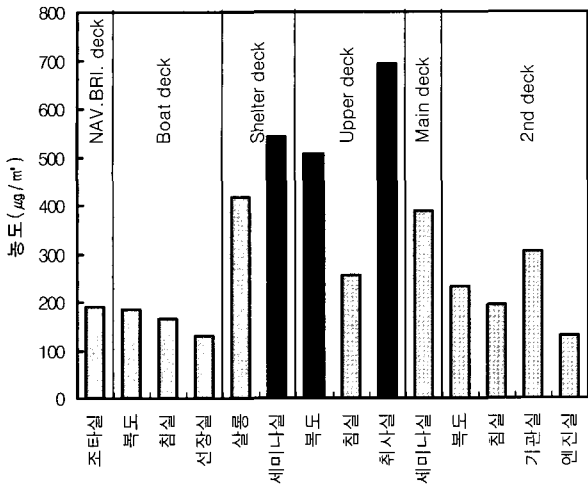


Fig. 3 Concentration of TVOC

Table 8은 휘발성유기화합물 중 본 연구에서 측정된 톨루엔(Toluene), 에틸벤젠(Ethyl benzene), 자일렌(Xylylene), 스티렌(Styrene)의 측정결과이다. 톨루엔의 농도는 대상실 평균치가 48.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가장 높은 Upper deck의 침실이 69.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며 에틸벤젠의 농도는 대상실 평균치가 18.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가장 높은 Upper deck의 취사실이 34.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 또, 자일렌의 농도는 대상실 평균치가 9.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가장 높은 Upper deck의 취사실이 16.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였고 스티렌의 농도는 평균치가 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가장 높은 기관실이 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 이와 같은 측정결과는 Table 2에 나타난 국내 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 톨루엔 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 자일렌 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 스티렌 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 매우 낮은 값이다.

이상과 같이 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌의 농도가 매우 낮은 것으로 나타났으나 TVOC의 농도가 높게 나타난 것은 이번에 측정된 4가지 물질 이외의 휘발성유기화합물 농도가 높았다는 것을 의미한다고 볼 수 있으며 이들이 어떤 물질인지에 대해 검토할 필요가 있다.

선박의 위치별로 보면 선박의 하층부에 있는 2nd deck와 Main deck에서 측정된 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌의 농도가 타 deck에 비해 높게 나타났으며 스티렌은 선박 위치별로도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

5.3 알데히드류 측정 결과

알데히드류의 측정결과를 Fig. 4에 나타낸다. 포름알데히드(Formaldehyde)의 농도는 대상실 평균치가 17.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가장 높

은 조타실의 농도가 22.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 국내 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 매우 낮게 나타났다. 한편, 아세트알데히드(Acetaldehyde)의 경우는 대상실 평균치가 6.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가장 높은 취사실이 15.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 국내 기준은 없지만 일본 후생노동성 권장치인 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮게 나타났다.

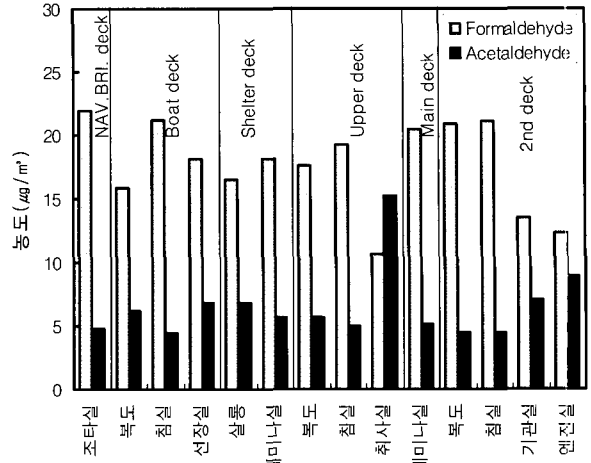


Fig. 4 Concentration of Formaldehyde and Acetaldehyde

Table 8 Concentration of VOCs

		(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		톨루엔	에틸벤젠	자일렌	스티렌
NAV.BRI. deck	조 타 실	44.7	11.5	7.8	1.2
Boat deck	복 도	46.9	12.1	5.8	1.1
	침 실	30.8	15.6	6.6	1.5
	선장실	31.0	18.0	7.3	0.9
Shelter deck	살 롱	37.9	22.1	9.5	0.8
	세미나실	45.7	12.4	6.8	0.6
Upper deck	복 도	68.2	12.2	8.6	1.6
	침 실	69.9	14.7	7.5	0.9
	취사실	58.6	34.7	16.1	2.2
Main deck	세미나실	64.5	29.4	12.0	1.0
2nd deck	복 도	64.5	16.9	11.6	1.3
	침 실	55.3	22.7	10.2	1.0
	기관실	38.7	16.4	10.8	3.3
	엔진실	25.0	20.7	10.6	0.7
총 평 균		48.7	18.5	9.4	1.3

선박 위치별 및 실 종류별 포름알데히드 농도차이는 거의 없게 나타나 선박 전체적으로 일정한 분포의 포름알데히드 농도를 보이고 있으며 아세트알데히드 역시 각 deck별 유사한 농도 분포를 보였으나 Upper deck의 취사실이 다른 부위에 비하여 아세트알데히드 농도가 상대적으로 높은 수치를 나타내고 있다.

Table 9 Concentration of Co, CO₂ and SO₂

(단위 : ppm)

		CO	CO ₂	SO ₂
NAV.BRI. deck	조타실	3.1	605.7	6.3
Boat deck	복도	3.7	509.6	6.3
	침실	3.9	800.2	6.8
	선장실	4.7	805.7	7.2
Shelter deck	살롱	3.7	566.8	6.8
	세미나실	3.0	633.5	6.3
Upper deck	침실	3.5	750.2	6.4
	취사실	5.3	644.6	13.3
Main deck	세미나실	4.2	705.7	7.4
2nd deck	복도	3.7	555.7	7.0
	침실	4.9	778.0	8.5
	기관실	5.1	944.7	9.2
	엔진실	3.7	928.0	6.2
총 평균		4.0	709.9	7.8

5.4 CO, CO₂, SO₂ 측정결과

CO, CO₂, SO₂의 측정결과를 Table 9에 나타낸다. 일산화탄소(CO)의 농도는 대상실 평균이 4.0ppm이었으며 Upper deck의 취사실이 5.3ppm, 2nd deck의 기관실이 5.1ppm으로 다른 실에 비해 높게 나타났지만 『다중이용시설등의 실내공기질 관리법』의 권고기준인 9ppm 보다 낮은 수치이다. 그러나 일반 건축물의 실내공간에서 1~2ppm 이하로 나타나는 것과 비교해서는 상대적으로 다소 높은 값을 보이고 있다.

이산화탄소(CO₂)의 경우 대상실의 평균농도가 709.9ppm로 『다중이용시설등의 실내공기질 관리법』의 유지기준인 1000ppm보다 다소 낮은 수치이며, 일반건축물 실내공간에서의 농도와 큰 차이가 없는 수준이다. 2nd deck의 기관실이 944.7ppm, 엔진실이 928.0ppm으로 다른 실에 비해 다소 높게 나타났다.

한편, 이산화황(SO₂)은 대상실의 평균농도가 7.8ppm로 대상실 전체가 『다중이용시설등의 실내공기질 관리법』의 권고기준인 0.05ppm보다 크게 상회하는 것으로 나타났다. 특히 Upper deck의 취사실의 농도가 13.3ppm으로 기준의 200배 이상의 높은 농도를 보이고 있다. 이산화황은 무색의 기체로 수용성이 강하며 황산이 되어 점막을 자극하여 기침, 재채기, 눈의 통증 등의 증상을 일으킨다. 석탄, 중유 등 황을 포함하고 있는 연료의 연소 등에 의해 이산화황이 발생되며^{6,7)} 선박내의 주요 발생원으로는 엔진 및 주방기구 등이므로 가장 농도가 높은 Upper deck의 취사실이나 기관실의 연소가스가 실내로 유입되고 있다고 추정할 수 있지만 세밀한 검토를 통해 원인 규명과 대책을 마련할 필요가 있다.

5.5 미세먼지, 부유세균, 부유진균 및 석면의 측정결과

미세먼지(PM10), 부유세균, 부유진균의 측정결과를 Table 10에 나타낸다. 미세먼지는 대상실의 평균 농도가 0.011mg/m³

이며 가장 높은 2nd deck의 엔진실이 0.032mg/m³으로 『다중이용시설등의 실내공기질 관리법』의 유지기준인 0.15mg/m³보다 낮은 농도분포를 보였다. 선박의 엔진실이 있는 2nd deck의 미세먼지 농도가 다른 deck보다 높게 나타났다.

Table 10 Concentration of PM10 and Bacteria

		미세먼지 (mg/m ³)	부유세균 (CFU/m ³)	부유진균 (CFU/m ³)
NAV.BRI. deck	조타실	0.007	215	160
Boat deck	복도	0.011	344	252
	침실	0.007	178	88
	선장실	0.013	1316	88
Shelter deck	살롱	0.009	197	0
	세미나실	0.008	197	17
Upper deck	복도	0.007	35	17
	침실	0.006	627	0
	취사실	0.014	551	17
Main deck	세미나실	0.011	70	70
2nd deck	복도	0.013	252	0
	침실	0.016	88	17
	기관실	0.019	17	17
	엔진실	0.032	-	-
총 평균		0.011	315	58

부유세균은 농도는 대부분의 실이 『다중이용시설등의 실내공기질 관리법』의 유지기준인 800CFU/m³보다는 낮게 나타났지만 Boat deck의 선장실이 1,316CFU/m³의 농도로 기준보다 높은 농도로 나타났다.

부유진균의 경우, 대상실의 평균이 58CFU/m³이며 선박 상층부인 Nav. Bri. deck의 조타실에서 160CFU/m³, Boat deck의 복도에서 252CFU/m³로 다른 공간보다 상당히 높은 농도 수준을 보이고 있다.

석면에 대해서는 Nav. Bri. deck의 조타실과 2nd deck의 복도, 침실 및 기관실의 4곳에서 채집하여 분석하였다. 분석결과 공기 중에 석면이 존재할 가능성이 높은 2nd deck의 기관실에서는 나타나지 않았고, 오히려 석면의 존재 가능성이 상대적으로 낮은 2nd deck의 침실에서 0.0044fiber/cc의 농도가 나타났으나 다중이용시설등의 실내공기질 관리법의 권고기준인 0.01fiber/cc'보다는 낮은 농도이다. 더불어 2nd deck의 침실에서 검출된 석면은 사문석계열의 chrysotile인 것으로 나타났다.

6. 결론

본 연구는 선박 승선자들의 선내공기 오염물질에 대한 노출을 평가하여 보다 쾌적한 선박환경의 조성과 선박 등의 특수 실내 환경에서 대한 실내공기질 관련법의 확대 및 제정에 있어 근본적인 기초자료를 제공하기 위해 2005년 12월에 건조된 한국해양대학교의 실습선인 한바다호를 대상으로 하여 선박 내부의 공기질을 측정하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다

음과 같다.

- 1) '한바다'호 선박 내부의 온도 및 습도, 기류를 측정된 결과, 실내온도는 20~27℃정도이지만 습도의 경우는 쾌적범위 40~60%보다 낮은 상태로 승선자의 쾌적성과 건강을 해칠 우려가 있었다. 또한 선내 온습도 조절은 담당자의 느낌으로 조절하고 있어 온습도 조절시스템의 적용이 필요하다. 한편 기류의 경우, Nav.Bri. deck의 조정실과 Upper deck의 복도, 2nd deck의 엔진실이 다소 높은 기류속도를 보였을 뿐, 기류속도는 대체적으로 매우 낮은 상태였다.
- 2) 총휘발성유기화합물(TVOC) 측정결과, Shelter deck의 세미나실, Upper deck의 복도와 취사실 농도가 『다중이용시설 등의 실내공기질 관리법』의 권고기준인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 것으로 나타났다. 그러나 개별 휘발성유기화합물 측정 항목인 톨루엔과 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌의 측정농도는 대상실 모두 국내 신축공동주택의 실내공기질 권고기준보다 낮은 농도 수준을 보였다. 4가지 개별 휘발성유기화합물의 농도가 매우 낮음에도 TVOC의 농도가 높게 나타난 것은 이번에 측정된 4가지 물질 이외의 휘발성유기화합물 농도가 높았다는 것을 의미한다고 볼 수 있으며 이들이 어떤 물질인지에 대해 검토할 필요가 있다.
- 3) 알데히드류 측정결과, 포름알데히드는 국내 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮은 농도였으며 국내 기준이 없는 아세트알데히드는 일본 후생노동성 권장치인 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮게 나타났다.
- 4) 이산화황(SO₂)의 측정결과, 대상실 평균이 7.8ppm으로 대상실 전체가 『다중이용시설 등의 실내공기질관리법』의 권고기준인 0.05ppm보다 크게 상회하는 농도였으며 이에 대한 원인 파악 및 대책 마련이 필요하다. 그 외 CO, CO₂, 미세먼지(PM10), 부유세균 및 부유진균의 농도 측정결과는 『다중이용시설 등의 실내공기질관리법』의 권고기준보다는 낮은 농도결과를 나타냈다. 단, 부유세균의 경우, Boat deck의 선장실이 1,316CFU/m³로 『다중이용시설 등의 실내공기질관리법』 권고기준을 1.7배 상회하는 측정결과였다. 또한 석면의 측정결과, 2nd deck의 침실에서 『다중이용시설 등의 실내공기질관리법』의 권고기준인 0.01fiber/cc보다는 낮은 0.0044fiber/cc의 농도를 보였다.

본 연구의 측정대상인 한국해양대학교 실습선 한바다호의 실내공기질은 이산화황을 제외하면 대체적으로 양호하다고 할 수 있으나, 건조 직후의 선박에 대한 실내공기질을 평가하기에는 아직 데이터가 부족하기 때문에 지속적인 실내공기질 평가가 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구를 진행함에 있어서 한국건설기술연구원과 한국해양대학교 부설 첨단그린패적기술연구센터의 협조를 받았으며 영남 Sea Grant 대학사업단 지원의 “선박의 거주성능 개선에 관한 연구” 결과의 일부입니다.

또한, 본 논문은 한국생태환경건축학회 춘계학술대회(2006. 5)에 발표한 “선박의 실내공기환경 조사 연구”를 수정·보완한 것임.

참 고 문 헌

- [1] 연합뉴스(2005. 11. 20) '새차증후군' 정부차원 첫 실태조사
- [2] 조효제, 도근영, 김동일, 고창두, 김상현(2002) "연안 소형선박내의 공기오염 및 전자파에 기초한 선상근무 환경의 평가", 한국항해항만학회지 제26권 제5호, pp 555~561
- [3] (社)日本造船學會造船設計委員會第2分科會 編(1970) JSDS-I-6 造船艦裝設計基準 船用空氣調和裝置設計基準 船舶の通風裝置設計基準, 海文堂
- [4] 室內空氣質健康影響研究會 編集(2004) 室內空氣質と健康影響 解説 シックハウス症候群, (株)ぎょうせい
- [5] 日本健康住宅協會 編(1999) "これだけは知っておきたい健康住宅の知識", 鹿島出版會
- [6] 池田耕一(1998) 室内空氣汚染の原因と對策, 日刊工業新聞社
- [7] (社)日本建築學會 編(2005) 室内空氣質環境設計法, 技報堂出版
- [8] 이윤규 외(2004) "실내공기질 공정시험방법 도출연구", 국립환경연구원
- [9] 이윤규 외(2005) "신축공동주택의 실내공기질 기준설정 연구", 국립환경연구원
- [10] 日本空氣清淨協會 編(2000) 室内空氣清淨便覽, オーム社

원고접수일 : 2007년 4월 10일

원고채택일 : 2007년 6월 29일