차량 내 미생물에 의해 생성되는 악취유발 화학물질의 분석

박상준, 김의용*

Determination of Malodor-causing Chemicals Produced by Microorganisms Inside Automobile

SangJun Park and EuiYong Kim*

접수: 2014년 3월 31일 / 게재승인: 2014년 4월 23일
© 2014 The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering

Abstract: It was confirmed that malodor connected with an air-conditioner in an automobile is caused by microbial volatile organic compounds (MVOCs) produced by microorganisms getting into an air-conditioner when it is operating. Chemicals such as hydrogen sulfide, dimethyl sulfide, n-butyric acid, n-valeric acid, iso-valeric acid, n-octanol and toluene were detected above the odor threshold inside the automobile. The characteristics of a funky odor in the air blown into the automobile were due to detected sulfur compounds (hydrogen sulfide and dimethyl sulfide). Dimethyl sulfide was produced by microorganisms such as *Aspergillus versicolor*, *Methylobacterium aquaticum*, *Herbaspirillum* sp. and *Acidovorax* sp. In addition, the characteristics of a sour odor in the air blown into the automobile were due to detected organic acids (n-butyric acid, n-valeric acid and iso-valeric acid). N-valeric acid and iso-valeric acid were generated from *Aspergillus versicolor*, while iso-valeric acid was produced by *Methylobacterium aquaticum*. In addition, the odor intensity of the air blown into the automobile was affected by the concentration of detected sulfur compounds and organic acids. On the other hand, it is estimated that chemicals such as hydrogen sulfide, n-octanol and n-butyric acid detected in the air blown into the automobile were produced by non-identified species of microorganisms.

Keywords: Automobile, Malodor, MVOCs (Microbial Volatile Organic Compounds), Odor threshold, Odor intensity

1. INTRODUCTION

한국자동차산업협회 통계자료에 의하면 2011년도 자동차 보유율은 가구당 0.94대로 집계됐다. 이처럼, 자동차 보유율이 확대되고 자동차 실내공간이 현대인의 거주공간 일부로 자리잡게 되면서 자동차실내공기질에 대한 관심도 증가되고 있다. 예전에는 신규제작자동차 (이하 신차)를 구입하면 실내에서 나는 화학물질 냄새때문에 수개월간 육체적·정신적 고통을 감수해야만 했었다. 국토교통부는 이러한 국민의 안전운전을 도모하고 건강을 보호함을 목적으로 2009년 “신차 실내공기질 관리기준”을 발표하여 2010년 7월1일 이후 생산한 신차부터 오염물질 (벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌, 포름알데히드)이 실내공기질 권고기준을 초과하지 않도록 관리하고 있다. 하지만, 자동차의 실내공기질에 대한 관리는 신차, 일부 오염물질에 국한되어 있고 제작 후 몇 년이 지난 자동차 (이하 중고차)에 대한 실내공기질 관리는 기준도 없고 모두 개인들의 몫으로 여겨지고 있다.

일반적으로, 중고차의 실내공기질에 대해 승객의 가장 큰 불만은 불쾌한 냄새이다. 냄새란 공기중의 어떤 냄새분자를 흡입했을 때 생기는 화학감각으로 인간에게 쾌감을 주는 냄새를 향기로 표현하고 불쾌한 냄새를 악취라고 표현한다 [1]. 이러한 악취는 승객에게 정신적 스트레스뿐만 아니라 호흡기계 과민성질환을 유발할 수도 있다. 냄새의 질과 강도는 원인물질의 종류가 다양하고 원인물질간의 상호작용, 후각의 개인적 차이 등으로 인해 일률적으로 정의하기는 어렵

서울시립대학교 화학공학과
Department of Chemical Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea
Tel: +82-2-6490-2365, Fax: +82-2-6490-2364
e-mail: eykim@uos.ac.kr

다. 일부 중고차에서는 공조시스템 (air conditioning systems) 을 통해 차내로 유입되는 공기가 차내 공기질을 더욱 악화시킨다고 알려져 있다 [2,3]. Simmons 등 [4]은 중고차 에어컨 증발기의 알루미늄핀에서 미생물에 의해 생성된 생물막 (bio-film)을 확인하였고, 이 생물막은 미생물의 저장소 (reservoir)와 같은 역할을 해서 미생물들이 계속해서 재생된다고 보고하였다. 또한, Rose 등 [5]은 *Penicillium viridicatum*과 *Methylobacterium mesophilicum*이 중고차 공조시스템에 공생하며 증발기와 insulation foam에 생물막을 형성하고, 이 미생물들에 의해 생성된 휘발성유기화합물 (Microbial Volatile Organic Compounds, MVOCs)이 유해한 냄새를 유발한다고 보고하였다. 이처럼 일반적으로 공조시스템에서 번식하는 다수의 미생물에 의해 생성된 MVOCs물질이 주요 악취유발물질로 인식되고는 있으나 정확한 발생메커니즘과 물질의 확인에는 어려움이 있다. 왜냐하면, 미생물의 대사과정에서 다양한 MVOCs가 만들어지고 같은 종의 미생물이라도 성장환경이 다르면 생성되는 MVOCs도 다르기 때문이다 [5-7]. 또한, 냄새유발 물질은 매우 낮은 농도에서도 후각을 자극하는 특성이 있고 기기검출기로 측정 가능한 물질이 제한되기 때문이다.

Kim 등 [8]은 차량용 냉동벤치시스템을 제작하여 GC/FID/Olfactometry방법으로 에어컨 증발기에서 발생하는 냄새물질들 (Aromatic hydrocarbons, Alcohols, Aldehydes, Organic acids 등)을 확인하였지만 자동차 증발기에서 서식하는 미생물에 대한 추가 연구가 필요하다고 보고하였다. Uchiyama 등 [9]은 차량용 증발기의 표면에서 수분 변화가 심하게 일어나는 [Dry to Wet] 및 [Wet to Dry]조건에서 냄새성분이 검출되었으며 [Dry to Wet]조건에서는 수분에 대해 상대적으로 용해도가 낮은 Toluene이 높게 검출되었고 [Wet to Dry]조건에서는 용해도가 높은 Iso-valeric acid 성분이 높게 검출되어 관능평가결과에 영향을 주었다고 보고하였다.

일반적으로 차량 내 에어컨 작동 시 발생하는 악취는 단속적 (intermittent)이고 지속시간이 짧은 특성이 있어 악취발생 원인과 악취유발 화학물질에 대한 연구결과가 매우 미약한

실정이다.

따라서, 본 연구에서는 차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 악취유발 화학물질의 분석과 그 발생원의 확인을 통해 차량 내 악취발생원인을 규명하고자 한다.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1 차량의 선정

대상 차량은 출고된 지 3년 이내이고 누적주행거리가 50,000 km미만인 차량으로 에어컨을 작동시켰을 때 악취가 심하게 느껴지는 차량을 선정하였다.

2.2 시약 및 기기

차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 화학물질이나 미생물에 의해 생성된 MVOCs를 정성·정량하기 위한 표준물 및 시험기기를 요약하여 Table 1에 나타내었다. 미생물을 동정 및 배양하기 위한 PDA (potato dextrose agar)배지는 Potato starch 4.0 g, Dextrose 20.0 g, Agar 15.0 g, 증류수 1 L를 혼합한 후 121°C, 15분간 멸균하여 제조하였다.

2.3 분석방법

2.3.1 차량 내 악취유발 화학물질의 채취 및 분석

실험을 진행하기 전에 대상 차량의 차문을 모두 개방하여 차량 내 공기를 30분간 환기시켰다. 차량을 밀폐한 후 에어컨을 내기모드로 작동시키고 운전석방향 송풍구에서 25 L 시료주머니 (Tedlarbag)를 이용하여 차량 내로 유입되는 공기를 채취하였다. 채취된 공기는 차광막에 넣어 실험실로 운반한 후 대표적 악취유발 화학물질인 질소화합물류, 황화합물류, 알데히드류, 휘발성유기화합물류, 지방산류에 대한 분석을 “악취공정시험방법”에 따라 진행하였다 [10]. 검출된 악취유발 화학물질의 채취 및 분석조건을 요약하여 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Standard materials and testing instruments for quantitative and qualitative analysis of malodor-causing chemicals

Compounds		Standard materials	testing instruments
Sulfur compounds	Methyl mercaptane	13-08767 & 13-08786 (Rigas, Korea)	GC/FPD-Thermal Desorption System (PerkinElmerClarus 680-Turbomatrix 300, USA)
	Hydrogen sulfide		
	Dimethyl sulfide		
Volatile organic compounds	Toluene	52 Component Indoor Air Standard (Supelco, USA)	GC/MSD-Thermal Desorption System (Agilent 6890N/5973-PerkinElmerTurbomatrix ATD, USA)
	Xylene		
	Ethylbenzene		
	Methyl ethyl ketone		
	n-Heptane	08607-1ML-F (Fluka, USA) P30802-5G (Aldrich, USA)	
	n-Octane		
	Methyl isobutyl ketone		
	n-Octanol		
2-Phenyl-2-propanol			
Organic acids	n-Butyric acid	S-19991 (AccuStandard, USA)	HeadSpace Sampler-GC/FID (Turbomatrix 40-PerkinElmerClarus 680, USA)
	n-Valeric acid		
	iso-Valeric acid		

Table 2. Summary of sampling and analytical conditions for malodor-causing chemicals

Compounds	Sampling conditions	Analytical conditions
Sulfur compounds	Methyl mercaptane	- TD: Cold trap temp.: -30°C, Desorption temp.: 90°C, Desorption time: 2 min, Desorption flow rate: 5 mL/min - GC: 40°C (5 min), 15°C/min to 200°C (5 min) - Column: Elite-1 60 m - 0.32 mm * 1 µm - FPD: Air 100 mL/min, H ₂ 80 mL/min, 280°C
	Hydrogen sulfide	
	Dimethyl sulfide	
Volatile organic compounds	Toluene	- TD: Cold trap temp.: -30°C, Desorption temp.: 280°C, Desorption time: 10 min, Desorption flow rate: 10 mL/min - GC: 38°C (5 min), 5°C/min to 250°C (5 min) - Column: DB-1 MS 60 m - 0.25 mm * 0.25 µm - MSD: He 0.8 mL/min, 280°C
	Xylene	
	Ethylbenzene	
	Methyl ethyl ketone	
	n-Heptane	
	n-Octane	
	Methyl isobutyl ketone	
	n-Octanol	
2-Phenyl-2-propanol		
Organic acids	n-Butyric acid	- Headspace: oven 90°C, Needle: 100°C, Transfer: 150°C - GC: 40°C (2 min), 5°C/m into 80°C (10 min), 10°C/min to 200°C (5 min) - Column: Elite - Wax 30 m - 0.53 mm * 0.5 µm - FID: Air 450 mL/min, H ₂ 45 mL/min, 250°C
	n-Valeric acid	
	iso-Valeric acid	

황화합물류는 채취한 공기를 Thermal Desorption System (PerkinElmer Turbomatrix 300, USA)을 이용하여 농축하였으며, 농축된 시료는 황화합물에 대해 선택성이 좋은 GC/FPD (PerkinElmer Clarus 680, USA)를 사용하여 분석하였다.

휘발성유기화합물류는 Tenax-TA 흡착제가 200 mg이상 충전되어있는 Tenax-TA 흡착튜브 (Supelco, USA)와 소형펌프 (MP-Σ100, Sibata, Japan)를 이용하였으며, 100 mL/min으로 10분간 총 1 L의 시료를 채취하였다. Tenax-TA 흡착튜브는 GC/MSD-Thermal Desorption system (Agilent 6890N/5973-PerkinElmer Turbomatrix ATD, USA)로 분석하였다.

지방산류는 0.1N-NaOH 수용액 40 mL를 제조하여 2개의 임핀저에 20 mL씩 나누어 담고 직렬로 연결한 후 1 L/min으로 1분간 1 L의 공기를 채취하였다. 유기산 분석은 분석용 시료용액을 넣은 바이알에 NaCl 2.3 g을 넣고 2% 황산 1 mL를 가하여 충분히 섞은 후 전처리 장비인 Headspace Samplers (PerkinElmer TurboMatrix 40, USA)로 교반(90°C, 20분) 후 바이알 상층부 기체층으로 유기산이 용출되면 이를 GC/FID (PerkinElmer Clarus 680, USA)에 주입하여 분석하였다.

2.3.2 직접관능법에 의한 냄새 평가

차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 공기와 미생물 배양 종료 후 시료주머니에서 채취한 공기에 대한 냄새 평가는 판정인 5명이 후각을 이용하여 직접 판정하였다. 냄새특성 (Odor quality)은 판정인이 냄새를 맡고 연상되는 느낌 중에서 공통적인 특징을 선정하였으며, 냄새세기 (Odor intensity)에 대한 판정기준은 Table 3에 나타내었다 [1].

화학물질의 최소감지농도 (Odor threshold) 및 화학물질농도와 냄새세기의 상관관계는 환경부 자료를 인용하여 나타

Table 3. Direct sensory test method

Intensity (degree)	Status
0	None
1	Threshold
2	Moderate
3	Strong
4	Very strong
5	Excessively strong

내었다 [1].

2.3.3 미생물의 포집 및 동정

차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 미생물을 포집하기 위해 운전석방향 송풍구에서 에어샘플러 (Merck, MAS-100)를 이용하여 20 L의 공기를 흡입하였다. 흡입된 공기를 성장배지 (Merck, Envirocheck plates)의 표면에 충돌시킨 후 배양기로 옮겨 28°C에서 48시간을 배양하였다. 배양기에서 48시간 동안 증식한 미생물 중에서 대표적인 3종을 분리하였고, 각각을 PDA 배지를 이용하여 28°C에서 5일간 배양시켰다. 순수 분리된 미생물을 (주)마크로젠에 의뢰하여 16S rRNA 유전자 염기서열분석방법을 통해 미생물을 동정하였다.

2.3.4 MVOCs 채취 및 분석

순수 분리된 미생물을 PDA 배지에 개별 접종한 후, 25 L 시료주머니에 각각 넣고 공기를 10 L씩 채운 후 밀봉하였다. 밀봉된 시료주머니는 배양기로 옮겨 28°C에서 5일간 배양하였다. 배양 종료 후 시료주머니에 들어있는 공기를 2.3.1항과 동일한 방법으로 채취하고 분석함으로써 미생물에 의해 생성된 MVOCs를 확인하였다.

Table 4. Malodor-causing chemicals detected from inside the automobile

Compound		Concentration (ppmv)	Order threshold (ppmv)	Order intensity (degree)
Sulfur compounds	Hydrogen sulfide	0.0014	0.0005	1~2
	Dimethyl sulfide	0.0005	0.0001	1~2
Volatile organic compounds	n-Octanol	0.009	0.0027	?
	Toluene	0.438	0.09	1~2
	Xylene	0.09	0.1	<1
	2-Ethylhexanol	0.008	0.009	<1
	2-Phenyl-2-propanol	0.026	?	?
	Ethylbenzene	0.018	0.17	<1
Organic acids	n-Butyric acid	0.003	0.00007	3~3.5
	n-Valeric acid	0.002	0.0001	2.5~3
	iso-Valeric acid	0.003	0.00005	2.5~3

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 차량 내 악취유발 화학물질 분석결과

차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 공기는 직접관능법에 의한 냄새평가에서 쿼퀴하고 시큼한 냄새특성이 있었으며 냄새세기는 2~3도로 판정되었다. 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 공기에서 검출된 화학물질들을 요약하여 Table 4에 나타내었다. 차량 내에서는 대표적인 악취유발 화학물질인 Hydrogen sulfide 0.0014 ppmv, Dimethyl sulfide 0.0005 ppmv, n-Butyric acid 0.003 ppmv, n-Valeric acid 0.002 ppmv, iso-Valeric acid 0.003 ppmv, n-Octanol 0.009 ppmv, Toluene 0.438 ppmv이 최소감지농도 (Odor threshold) 이상으로 검출되었다. 기타 Xylene 0.09 ppmv, 2-Ethylhexanol 0.008 ppmv, Ethylbenzene 0.018 ppmv이 검출되었으나 최소감지농도 이하였고, 2-Phenyl-2-propanol 0.026 ppmv이 검출되었으나 최소감지농도는 확인할 수 없었다.

화학물질의 최소감지농도 (Odor threshold) 및 화학물질농도와 냄새세기의 상관관계는 환경부에서 2007년에 발간한 악취관리 업무편람에 수록된 자료를 인용하여 나타내었다 [1]. 다만, 2-Phenyl-2-propanol은 물질안전보건자료 (Safety

data sheet, Thermo Fisher Scientific Inc., USA)에 의하면 무취 (Odorless)의 액상물질로 최소감지농도에 대한 자료는 확인할 수 없었다 [11].

차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 공기가 쿼퀴하고 시큼한 냄새 특성을 보인 것은 황화합물류 (Hydrogen sulfide, Dimethyl sulfide)와 지방산류 (n-Butyric acid, n-Valeric acid, iso-Valeric acid)에 의한 것이며 냄새세기는 검출된 화학물질들의 농도와 관련이 있다. 검출된 황화합물류 (Hydrogen sulfide, Dimethyl sulfide)는 계란 썩는 냄새, 양파 혹은 양배추 썩는 냄새 등 쿼퀴한 냄새특성이 있으며, 검출농도에 따른 냄새세기는 1~2도로 충분히 인지할 수 있는 농도이다.

검출된 지방산류 (n-Butyric acid, n-Valeric acid, iso-Valeric acid)는 땀냄새, 젖은 구두에서 나는 냄새 등 시큼한 냄새특성이 있으며 검출농도에 따른 냄새세기는 2.5~3.5도로 평가되었다. 이 결과는 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 공기의 직접관능법에 의한 냄새세기 판정결과 (2~3도)와 거의 일치하였다.

3.2 미생물 동정결과

순수 분리된 미생물의 형태를 Fig. 1에 나타내었다. 순수 분리

Fig. 1. The representative microorganisms isolated from automobile air conditioning systems.

된 미생물을 (주)마크로젠에 의뢰하여 16S rRNA 유전자 염기서열 분석방법을 통해 동정한 결과 (A) *Aspergillus versicolor*, (B) *Methylobacterium aquaticum*, (C) *Herbaspirillum* sp.와 *Acidovorax* sp.로 확인되었다. Kumar 등 [12-14]은 차량 내 에어컨 송풍기를 통해 배출되는 *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp. 및 *Penicillium* sp.과 같은 미생물에 의해 알레르기성 비염과 과민성 폐렴이 유발될 수 있다고 보고하였다. 더욱, 미국 직업안전위생관리국 (OSHA)에서는 *Aspergillus versicolor*를 과민성 폐렴과 피부염 등을 유발시킬 수 있는 유해균으로 분류하고 있다 [15].

또한, *Methylobacterium aquaticum*은 식수공급시스템과 공조시스템 등에서 발견되며, 강한 병원성 세균은 아니지만 일부 중환자의 혈액 등 임상 소스에서 발견되기도 한다 [16-18].

한편, *Herbaspirillum* sp.와 *Acidovorax* sp.는 토양에서 흔히 발견되는 질소고정 박테리아로 알려져 있지만 특정 종은 잠재적인 병원성 균이라는 보고가 있다 [19,20].

이러한 미생물들은 공기 중에서 입자상 물질로 존재하며 피부질환, 비염, 천식 등을 유발시킬 수 있으며 미생물의 대사산물인 MVOCs 역시 악취와 건강을 위협하는 원인이 될 수 있다.

Simmons 등 [4]은 12대의 중고차 에어컨 증발기 중 10대의 증발기 표면에서 생물막이 발견되었으며 그 중 4대의 증발기에서 *Penicillium viridicatum*과 *Methylobacterium mesophilicum*이 존재함을 확인하였다. 또한, 이러한 생물막은 27개월의 건조보관 후에도 다시 회생되는 것으로 확인되었다.

이처럼 차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 미생물은 상대습도가 높고 흙, 먼지 또는 유기물 부스러기 등이 증발기 표면에 흡착되어 미생물의 생장에 매우 적절한 조건을 만들어 주는 증발기 표면에 생물막을 형성하며 존재할 가능성이 매우 높을 것으로 보인다. 따라서, 이를 확인하기 위한 추가적인 연구가 진행 중에 있다.

3.3 MVOCs 분석결과

미생물에 의해 생성된 MVOCs 중 정성·정량된 물질을 요약하여 Table 5에 나타내었다.

*Aspergillus versicolor*에 의해 생성된 MVOCs는 Dimethyl sulfide 0.0139 ppmv, n-Valeric acid 0.050 ppmv, iso-Valeric acid 0.033 ppmv이 최소감지농도 이상으로 검출되었다. 기타 n-Heptane 0.024 ppmv, Toluene 0.012 ppmv, n-Octane 0.009 ppmv이 검출되었으나 최소감지농도 이하였다. Bjurman & Kristensson [21]과 Pasanen 등 [22]은 실내에서 발견된 *Aspergillus versicolor*가 대사산물로 다수의 VOCs를 생성하였고, 이 물질들이 실내에서 악취를 유발한다고 보고하였다.

또한, *Methylobacterium aquaticum*에 의해 생성된 MVOCs는 Methyl mercaptane 0.0058 ppmv, Dimethyl sulfide 1.5747 ppmv, iso-Valeric acid 0.001 ppmv이 최소감지농도 이상으로 검출되었다. 기타 Methyl ethyl ketone 0.278 ppmv, Toluene 0.009 ppmv이 검출되었으나 최소감지농도 이하였다. Rose 등 [4,5]은 Simmons과의 선행연구로 확인된 *Penicillium viridicatum*과 *Methylobacterium mesophilicum*를 시험배지에서 배양한 결과 *Penicillium viridicatum*에 의해선 4-Methyl thiazole, Terpenes, Chlorophenol 등이 생성되었고 *Methylobacterium mesophilicum*에 의해선 Dimethyl disulfide, Dimethyl trisulfide, Chlorophenol 등이 생성되었다고 보고하였다.

한편, *Herbaspirillum* sp.와 *Acidovorax* sp.에 의해 생성된 MVOCs는 Dimethyl sulfide 0.0206 ppmv이 최소감지농도 이상으로 검출되었다. 기타 Toluene 0.010 ppmv, Methyl isobutyl ketone 0.037 ppmv이 검출되었으나 최소감지농도 이하였다.

4. CONCLUSION

차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 공기는 쿼퀴하고 시큼한 냄새특성이 있었으며 냄새세기는 2~3도로 판정되었다. 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 공기에서는 화학물질인 Hydrogen sulfide 0.0014 ppmv, Dimethyl sulfide 0.0005 ppmv, n-Butyric acid 0.003 ppmv, n-Valeric acid 0.002 ppmv, iso-Valeric acid 0.003 ppmv, n-Octanol 0.009 ppmv, Toluene 0.438 ppmv이 최소감지농도 이상으로 검출되었다. 기타 Xylene 0.09 ppmv, 2-Ethylhexanol 0.008 ppmv, Ethylbenzene 0.018

Table 5. Quantitative and qualitative results of VOCs produced by microorganisms

Compound	Concentration (ppmv)			Order threshold (ppmv)	Order intensity (degree)		
	(A)	(B)	(C)		(A)	(B)	(C)
Sulfur compounds	Methyl mercaptane	0.0058		0.0001		3~3.5	
	Dimethyl sulfide	0.0139	1.5747	0.0206	0.0001	2.5~3	2.5~3
Volatile organic compounds	Methyl ethyl ketone		0.278	0.44		<1	
	n-Heptane	0.024		0.67	<1		
	Toluene	0.012	0.009	0.010	0.33	<1	<1
	n-Octane	0.009		1.7	<1		
	Methyl isobutyl ketone		0.037	0.17			<1
Organic acids	n-Valeric acid	0.050		0.0001	> 4.5		
	iso-Valeric acid	0.033	0.001	0.00005	4~4.5	2.5	

(A) *Aspergillus versicolor*, (B) *Methylobacterium aquaticum*, (C) *Herbaspirillum* sp. and *Acidovorax* sp.

ppmv이 검출되었으나 최소감지농도 이하였고, 2-Phenyl-2-propanol 0.026 ppmv이 검출되었으나 최소감지농도는 확인할 수 없었다.

차량내부로 유입되는 공기의 쿼퀴한 냄새특성은 검출된 황화합물류 (Hydrogen sulfide, Dimethyl sulfide)에 의한 것이며 *Aspergillus versicolor*, *Methylobacterium aquaticum*, *Herbaspirillum* sp.와 *Acidovorax* sp.에 의해 Dimethyl sulfide가 생성됨이 확인되었다. 또한, *Methylobacterium aquaticum*에 의해 Methyl mercaptane이 생성되었으나 차량 내부의 공기에서는 검출되지 않았다.

차량내부로 유입되는 공기의 시큼한 냄새특성은 검출된 지방산류 (n-Butyric acid, n-Valeric acid, iso-Valeric acid)에 의한 것이며 *Aspergillus versicolor*에 의해 n-Valeric acid, iso-Valeric acid가 생성되었고 *Methylobacterium aquaticum*에 의해 iso-Valeric acid가 생성됨이 확인되었다.

또한, 차량내부로 유입되는 공기의 냄새세기는 검출된 황화합물류와 지방산류의 농도에 영향을 받는 것으로 확인되었다.

반면, 차량 내부로 유입되는 공기에서 검출된 hydrogen sulfide, n-octanol, n-butyric acid는 동정된 미생물 이외의 종에 의해 생성된 것으로 추정된다.

본 연구를 통해 차량 내 에어컨 작동 시 실내로 유입되는 악취유발 화학물질들을 확인할 수 있었고, 이 물질들은 미생물들에 의해 생성됨이 확인되었다. 본 선행연구를 기반으로 차량 내부로 유입되는 미생물의 생장장소 확인, 생물막의 생성과정 및 성분분석, 미생물의 생장을 가능하게 하는 영양원 (흙, 먼지, 유기물 부스러기 등) 분석 등의 추가적인 연구를 통해 궁극적으로는 생물막의 생성 및 미생물의 증식을 억제할 수 있는 방안을 찾을 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. Ministry of Environment (2007) *Order control task manual*. pp. 2-22 & 299-305. Seoul. Korea.
2. Kim, K. H., S. H. Kim, Y. R. Jung, M. G. Kim, J. H. Kim, H. Y. Park, J. K. Lee, Y. J. Jee, and K. H. Kim (2006) A Study on odor evaluation of automobile air conditioner evaporator by using lab-scale test bench. *The Korean Soc. Automotive Eng.* 11: 685-691.
3. Ryu, Y.J., I. H. Lee, and M. G. Kim (2010) Investigation of reproduction method for malodor emitted from automobile air conditioner and identification of VOCs from evaporator using test cooling bench. *Korean Soc. Odor Res. Eng.* 10: 108-113.
4. Simmons, R. B., L. J. Rose, S. A. Crow, and D. G. Ahearn (1999) The occurrence and persistence of mixed biofilms in automobile air conditioning systems. *Curr. Microbiol.* 39: 141-145.
5. Rose, L. J., R. B. Simmons, S. A. Crow, and D. G. Ahearn (2000) Volatile organic compounds associated with microbial growth in automobile air conditioning systems. *Curr. Microbiol.* 41: 206-209.
6. Borjesson, T., U. Stollman, and J. Schnurer (1990) Volatile metabolites and other indicators of *Penicillium aurantiogriseum* growth on different substrates. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 3705-3710.
7. Bjurman, J. and J. Kristensson (1992) Production of volatile metabolites by the soft rot fungus *Chaetomium globosum* on building materials and defined media. *Microbios.* 72: 47-54.
8. Kim, K. H., S. H. Kim, Y. R. Jung, and M. G. Kim (2008) Evaluation of malodor for automobile air conditioner evaporator by using laboratory-scale test cooling bench. *J. Chromatogra. A* 1204: 72-80.
9. Uchiyama, K., O. Kasebe, K. Kobayashi, S. Sato, and H. Ito (2003) Analysis for adsorbed odor from car air conditioner evaporator. *JSAE Annual Congress* 37: 1-4.
10. Lee, M. H., D. Y. Shin, and Y. S. Kang (2006) *Standard method of odor compounds*. pp. 70-130. Shinkwang Publisher, Seoul, Korea.
11. Acros Organics part of Thermo Fisher Science, Safety data sheet. <http://www.acros.com>. (2014).
12. Kumar, P., R. Marier, and SH. Leech (1981) Hypersensitivity pneumonitis due to contamination of a car air conditioner. *N. Engl. J. Med.* 305: 1531-1532.
13. Kumar, P., R. Marier, and SH. Leech (1984) Respiratory allergies related to automobile air conditioners. *N. Engl. J. Med.* 311: 1619-1621.
14. Kumar, P., M. Lopez, W. Fan, K. Cambre, and RC. Ellisin (1984) Mold contamination of automobile air conditioners systems. *Ann Allergy* 64: 174-177.
15. Occupational Safety & Health Administration. Chemical sampling information-*Aspergillus versicolor*. <https://www.osha.gov>. (2014).
16. Furuhashi, K., A.U. Banzai, Y. Kawakami, N. Ishizaki, Y. Yoshida, K. Goto, and M. Fukuyama (2011) Genotyping and chlorine-resistance of *Methylobacterium aquaticum* isolated from water samples in Japan. *Biocontrol Science* 16: 103-107.
17. Furuhashi, K., Y. Kato, K. Goto, M. Hara, S. Yoshida, and M. Fukuyama (2006) Isolation and identification of *Methylobacterium* species from the tap water in hospitals in Japan and their antibiotic susceptibility. *Microbiol. Immunol.* 50: 11-17.
18. Hiraishi, A., K. Furuhashi, A. Matsumoto, K. A. Koike, M. Fukuyama, and K. Tabuchi (1995) Phenotypic and genetic diversity of chlorine-resistant *Methylobacterium* strains isolated from various environments. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 2009-2107.
19. Chen, J., Z. Su, Y. Liu, S. Sandoghchian, D. Zheng, S. Wang, and H. Xu (2011) *Herbaspirillum* Species: A potential pathogenic bacteria isolated from acute lymphoblastic leukemia patient. *Curr. Microbiol.* 62: 331-333.
20. Mario, V., J. Michèle, A. Véronique, D. Michel, and D. Pieter (2013) Description of *Acidovorax wautersii* sp. nov. to accommodate clinical isolates and an environmental isolate, most closely related to *Acidovorax avenae*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 63: 2203-2206.
21. Bjurman, J. and J. Kristensson (1992) Volatile production by *Aspergillus versicolor* as a possible cause of odor in houses affected by fungi. *Mycopathologia.* 118: 173-178.
22. Pasanen, P., A. Korpi, P. Kalliokoski, and A. L. Pasanen (1997) Growth and volatile metabolite production of *Aspergillus versicolor* in house dust. *Environ. International.* 23: 425-432.