

국내 선박용 도료의 VOC_s 함량분포 및 오존생성기여도에 관한 연구

The Analysis on the VOC_s Contents and Ozone Production Contribution of A Marine Paint in Korea

김수민 · 이영수 · 강경희¹⁾ · 유경선*

광운대학교 환경공학과, ¹⁾국립환경과학원 대기공학연구과

(2014년 10월 28일 접수, 2014년 12월 4일 수정, 2014년 12월 8일 채택)

Su Min Kim, Young soo Lee, Kyoung Hee Kang¹⁾ and Kyung Seun Yoo*

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

¹⁾Air Pollution Engineering Division, National Institute of Environmental Research

(Received 28 October 2014, revised 4 December 2014, accepted 8 December 2014)

Abstract

In this research, a few paints in the shipyard were selected and analyzed for the component and ozone production in marine paint using TVOC and GC/FID, ozone generation index (MIR, POCP) to establish measures of VOC_s effectively. The concentrations of TVOC ranged between approximately 300 ~ 400 g/L and 400 ~ 500 g/L, respectively and these showed 37% of whole. Our results indicated that the main constituents of marine paints were m,p,o-xylene (49%), ethyl benzene (10%), toluene (8%) and 2-propanol (5%). It was also found that xylene concentration have relatively higher impact on ozone generation. The types of paints were also investigated for their potentials. The biggest contributor was the 1 Pack Finish paint. The rest is, in their contributing order, 1 Pack Finish paint, 2 pack Finish paint, Anti-fouling paint, 2 Pack A/C paint, Ballast paint and 1 Pack A/C paint.

Key words : Paint solvents, VOC, TVOC, Marine paint

1. 서 론

지난 수년간의 대기오염도를 살펴보면, 일산화탄소(CO), 이산화황(SO₂), 납(Pb)과 같은 1차 오염물질들은 점차 줄어들지만 오존(O₃), PAN과 같은 2차 오염물질들은 증가하는 경향을 보이고 있다(Choi,

2012). 휘발성유기화합물(이하 VOC_s)은 유해화학물질을 포함하는 경우가 많아 독성에 대한 관리가 필요할 뿐만 아니라 광화학반응으로 오존 생성을 유발하게 된다(KMOE, 2002). 국가배출량 산정결과의 VOC_s 주요 배출원은 유기용제사용이며 도료사용으로 인한 기여도는 전체 배출량의 64%를 차지하고 있다(NIER, 2013).

도료가 사용되는 산업분야에 따라 방지시설 적용이 가능한 영역도 존재하지만 야외도장으로 도료 내

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-940-5497, E-mail : yooks@kw.ac.kr

Table 1. A category of paint products and the number of products.

Classification	Number of products
Anti-fouling	6
1 Pack A/C	3
2 Pack A/C	8
1 Pack Finish	2
2 Pack Finish	7
Ballast	4

*All paint products was dilute with thinner

VOC_s성분이 대기 중으로 비산배출되는 영역도 존재한다. 환경부는 건축용, 자동차보수용, 도로표지용 도료에 대하여 VOC_s 함유기준을 설정하였으며, 함유기준을 점차 강화하며 관리하고 있다. 선박용·강교용 도료의 경우 전체 VOC_s 배출량(28만 6,000톤) 중 약 15%를 차지하며, 도장공정은 대부분 야외도장으로 규모가 크다. 그러나 대기환경보전법상 배출시설 용적이 50,000 m³ 이상인 방지시설은 면제되고 있어 선박용 도료의 VOC_s 비산배출 문제에 대한 적절한 관리기준이 없다. 이에 환경부에서는 선박용·강교용 도료의 함유기준을 신설하여 2015년부터 시행할 예정이다(KMOE, 2013).

본 연구에서는 현재 조선소에서 사용 중인 도료제품의 VOC_s 조성분석을 통하여 도료 용도별 오존생성능력에 대한 평가를 수행하였다.

2. 실험

2.1 시료

국내에 유통되는 선박용 도료 중 사용량이 많은 도료를 분류기준에 따라 총 30개 제품으로 선정하였으며(표 1), 도료 용기에 명시된 권장 비율을 기준으로 최대희석비로 희석한 후 이용하였다.

2.2 분석 및 실험방법

먼저 TVOC 분석을 위해 분석대상도료를 KSM ISO 2811-1 (밀도), KSM ISO 3251 (불휘발분 함량), KSM 0034 Karl Fischer 적정방법 (수분함량), KSM ISO 11890-2 가스 크로마토그래피 방법 (면제물질 함량)에 따라 분석하였으며(NIER, 2006), 위의 시험방법에 따라 측정된 결과값을 국립환경과학원 고시 제

Table 2. A list of target standard compounds.

No.	Name of compounds	Molecular formula	RRF
1 ^{a)}	Benzene	C ₆ H ₆	2.81
2 ^{a)}	Chloroform	CHCl ₃	0.13
3 ^{a)}	n-Hexane	C ₆ H ₁₄	2.06
4 ^{a)}	2-propanol	C ₃ H ₈ O[(CH ₃)CHOHCH ₃]	2.05
5 ^{a)}	Methyl ethyl ketone	C ₄ H ₈ O[CH ₃ COCH ₂ CH ₃]	1.80
6 ^{a)}	Dichloromethane	CH ₂ Cl ₂	1.42
7 ^{a)}	1,1,1-Trichloroethane	C ₂ H ₃ Cl ₃	0.46
8 ^{a)}	Trichloroethylene	C ₂ HCl ₃	4.75
9 ^{a)}	Ethyl benzene	C ₈ H ₁₀	0.75
10 ^{a)}	Toluene	C ₇ H ₈	0.82
11 ^{a)}	Tetrachloroethylene	C ₂ Cl ₄	5.49
12 ^{a)}	o-Xylene	C ₈ H ₁₀	0.94
13 ^{a)}	m-Xylene	C ₈ H ₁₀	0.99
14 ^{a)}	p-Xylene	C ₈ H ₁₀	0.98
15	n-Butyl alcohol	C ₄ H ₁₀ O	1.22
16	PGMEA	C ₆ H ₁₂ O ₃	1.80
17	MIBK	C ₆ H ₁₂ O	1.16
18	n-Butyl acetate	C ₆ H ₁₂ O ₂	1.50
19	Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	2.24
20 ^{b)}	Isopropyl benzene	C ₉ H ₁₂	7.06
21 ^{b)}	octane	C ₈ H ₁₈	0.87
22 ^{b)}	nonane	C ₉ H ₂₀	0.90
23 ^{b)}	decane	C ₁₀ H ₂₂	1.16
24 ^{b)}	undecane	C ₁₁ H ₂₄	1.64
25 ^{b)}	dodecane	C ₁₂ H ₂₆	5.26
26 ^{b)}	1-methoxy-2-propanol	C ₄ H ₁₀ O ₂	2.16
27 ^{b)}	Methyl methacrylate	C ₅ H ₈ O ₂	1.51
28 ^{b)}	isobutanol	C ₄ H ₁₀ O	2.39
29 ^{b)}	ethyl alcohol	C ₂ H ₆ O	4.16
30 ^{b)}	n-Butyl acrylate	C ₇ H ₁₂ O ₂	1.46
31 ^{b)}	M-Pyrol	C ₅ H ₉ NO	7.83

^{a)}Designated VOC_s by Ministry of Environment

^{b)}The compounds which has response factor (EPA published Response Factors)

*PGMEA: Propylene glycol monomethyl ether acetate

*MIBK: Methyl isobutyl ketone

*M-Pyrol: 1-methyl-2-pyrrolidinone

2009-18호 산정방식에 적용하였다.

개별 VOC_s 분석의 경우 표 2에 제시한 바와 같이 총 31종 VOC_s를 표준물질(STD)로 선정한 후, 국제 표준법 ISO 11890-2에 따라 GC/MS 및 GC/FID를 사용하여 분석하였다. 1~19번 물질은 내부표준물질(Isobutyl alcohol)을 이용하여 상대응답인자(RRF)에 의한 내부표준화법으로 분석하였으며, 20~31번 물질은 EPA 자료의 RRF를 활용하였다(Ldartools, 2011). 분석조건은 표 3과 같으며, 1~19번 물질의 함량은 GC/FID를 이용한 정량분석으로 산정하였다. 이외 물질의 경우, GC/MS를 이용한 정성분석으로

Table 3. GC analysis condition.

GC/ FID		Device name	6890 N
		Inlet tem.	230°C
		Split ratio	1 : 20
		Injection amount	1 µL
	Oven tem.	Initial tem.	50°C
		Isothermal fixed time ①	11 min.
		Heating rate ①	6°C/min.
		Final tem. ①	150°C
		Isothermal fixed time ②	10 min.
		Heating rate ②	10°C/min.
		Final tem. ②	210°C
		Isothermal fixed time ③	10 min.
	Detector tem.		250°C
	Carrier gas		He
GC/ MS		Device name	7890 A
		Inlet tem.	230°C
		Split ratio	1 : 5
		Injection amount	1 µL
	Oven tem.	Initial tem.	50°C
		Isothermal fixed time ①	7 min.
		Heating rate ①	6°C/min.
		Final tem.	210°C
		Isothermal fixed time ②	20 min.
	Detector tem.		250°C
	Carrier gas		He

*tem.: temperature

*Column: DB-624 (30.0 m × 250 µm × 1.40)

도료 내 성분을 분석한 후 GC/FID를 이용하여 성분의 피크면적과 RRF를 이용하여 정량하였다. 자세한 계산 방법은 아래와 같으며 (ISO, 2006), 모든 분석은 3회 반복하여 평균값을 사용하였다.

$$\text{VOC}_s \text{ 분석함량 } (m_i) = \frac{r_i \times A_i \times m_{is}}{m_s \times A_{is}}$$

(r_i =RRF): 화합물 i의 응답 인자

A_i : 분석물질 i의 피크 면적

A_{is} : 내부표준물질의 피크 면적

m_s : 시료의 질량(g)

m_{is} : 내부표준물질의 질량(g)

$$\text{응답인자 } (r_i) = \frac{m_{ci} \times A_{is}}{m_{is} \times A_{ci}}$$

(r_i =RRF): 화합물 i의 응답 인자

A_{is} : 내부표준물질의 피크 면적

A_{ci} : 분석물질의 피크 면적

m_{ci} : 분석물질의 질량(g)

m_{is} : 내부표준물질의 질량(g)

3. 잠재적 오존발생량 분석

VOC_s가 질소산화물과의 광화학반응으로 오존을 생성한다는 사실은 스모그챔버 실험과 대기질 측정을 이용하여 입증되어 있으나 실제 대기조건 모사가 어려워 VOC_s 화학종별 오존생성능력을 평가하는 것은 용이하지 않았다. 기존의 평가방법이 초기 광화학 반응속도에 민감하다는 단점을 보완하기 위하여 Carter and Atkinson (1989)은 오존생성속도의 변화가 최대가 되도록 질소 산화물의 농도를 변화시켜 광화학 반응을 모사하였으며, 이 결과는 MIR (최대증분반응)로 오존생성기여도의 척도로 사용되었다. 또한 유럽의 Derwent *et al.* (1996)은 MIR의 짧은 모사시간과 초기조건의 대표성 결여 문제를 해결하고자 ethylene의 오존생성기여도를 기준으로 오존생성기여도를 표준화한 POCP를 개발하였다. 국내의 Lee *et al.* (2007)은 MIR과 POCP가 미국과 유럽의 고농도 오존사례를 기준으로 개발되었기 때문에, 대기조건 모사시간과 모델종류가 우리나라에 적합하지 않다는 문제점을 발견하였다. 이에 우리나라의 광화학오염물 질측정망 (PAMS)에서 측정된 VOC_s와 NO_x 농도를 이용하여 한국에 적합한 오존 기여도 평가인자인 RIR을 개발하였다.

$$\text{잠재적 오존발생량} = \text{VOC}_s \text{ 함량} \times \text{오존생성지표}$$

4. 결과 및 고찰

4.1 선박용 도료 분석결과

국내의 도료 중 VOC_s 함량 계산방법은 TVOC량에서 미규제 VOC_s량 (대기환경보전법의 37종을 제외한 유기화합물 총량)을 빼서 구하는 방법과 대기환경보전법에서 규제하고 있는 37종의 VOC_s만을 분석하여 개별 VOC_s의 질량을 모두 합하여 구하는 방법으로 두 개의 방법이 존재하였다. 37종 이외의 물질 정량에 대한 어려움과 실제 분석 가능한 물질이 24개에 불과하다는 문제점으로 현재는 TVOC 분석 후, 기준 초과 우려가 있을 시 GC를 이용한 분석가능

VOC_s 함량을 산정하는 방법으로 변경되었다(Kim *et al.*, 2006). 따라서 표 4는 현행 기준에 따라 분석한 전체 도료제품의 밀도, 불휘발분, 수분, TVOC 함량, 개별 VOC_s 함량 등을 용도별로 분류하여, 같은 분류 내 도료제품의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면, TVOC 함량이 300~500 g/L 사이인 도료가 전체의 73.3%를 차지하였다. 용도별로 살펴보면, 1액형 마감도료의 함량은 592.7 g/L로 상대적으로 높았으며 2액형 방청도료는 384.0 g/L로 낮았다. 같은 마감도료에서도 1액형 제품이 2액형 제품에 비하여 약 100 g/L 이상 높게 나타났다. 이는 2액형 마감도료 제조 시, 합성수지의 분자량을 낮추고 점도가 낮은 제품의 개발이 진행되고 있는 것으로 조사되어 상대적으로 낮은 VOC_s 함량을 보인 것으로 여겨진다(KOSAE, 2006).

4.2 선박용 도료 개별 VOC_s 성분분석

대기환경보전법의 37종 VOC_s (KMOE, 2012) 중 분석 가능한 14종 물질과 이외 검출물질(비지정물질)을 TVOC 함량과 비교분석하여 그림 1에 제시하였다. 14종 VOC_s 함량의 전반적인 경향은 100~200 g/L 사이인 도료가 전체의 46.7%를 차지하였으며, 이외 VOC_s는 대부분 200 g/L 이하로 존재하였다. Σ VOC (14종)에서는 1액형 마감도료가 가장 TVOC 함량에 근접하였으며, 1액형 방청도료는 약 300 g/L 이상의 큰 차이를 보여 비지정물질을 다량 함유하고 있다는 것을 확인하였다. 개별 VOC_s 31종을 모두 합산하여 살펴보면, 방오도료와 1액형 마감도료가 24~75 g/L의 근소한 차이를 보여 TVOC에 가장 근접하는 것으로 나타났다.

그림 2의 개별 VOC_s 성분 결과를 보면, 지정물질 14종 대비 비지정물질의 함량 비율은 평균 36%인 것으로 나타났으며, 대부분의 도료에서 VOC_s 함량이 높아질수록 지정물질과 비지정물질 함량 모두 동시에 증가하였다. 또한 개별 31종 VOC_s 중 대부분의 도료에서 m,p,o-xylene (49%)을 가장 많이 사용하는 것으로 조사되었으며 ethyl benzene (10%), toluene (8%), 2-propanol (5%) 순으로 검출되었다. 선행연구에서 제시한 건축용 및 자동차보수용, 도로표지용 도료의 검출물질을 살펴보면(Jung *et al.*, 2007), toluene, ethyl benzene, p,o-xylene, 2-propanol, MEK 등 6개 물질로 본 연구결과에서 검출된 물질과 유사하였다.

Table 4. The summary of marine paint analysis.

Classification	Number of products	*15 VOC _s legal standard	Specific gravity (g/mL)	Non-volatile (%)	Water (%)	VOC _s Quantity (g/L)		
						TVOC	Σ VOC (14 type)	VOC _s W/O 14
Anti-fouling	6	500	1.53±0.23 ^{a)} 1.24~1.86 ^{b)}	68.99±5.78 62.36~79.21	2.99±2.66 0.19~6.82	419.1±50.0 347.8~467.7	155.5±88.4 15.0~282.5	189.1±260.2 15.2~704.0
1 Pack A/C	3	550	1.23±0.07 1.19~1.32	66.04±7.02 64.93~68.06	1.57±1.14 0.26~2.24	399.6±16.4 388.4~418.5	85.8±43.9 48.2~134.0	138.0±68.0 88.5~215.6
2 Pack A/C	8	550	1.33±0.14 1.11~1.48	70.21±10.79 54.47~85.21	0.54±0.63 0.19~2.07	384.0±100.9 216.5~501.1	186.4±124.7 29.0~355.3	91.6±64.2 19.1~172.2
1 Pack Finish	2	500	1.06±0.12 0.97~1.14	43.53±3.05 41.37~45.68	0.13±0.03 0.11~0.14	592.7±36.3 567.0~618.4	408.0±113.5 327.8~488.3	160.5±106.9 84.9~236.0
2 Pack Finish	7	500	1.28±0.09 1.18~1.47	66.42±7.31 56.07~78.03	0.36±0.06 0.28~0.43	421.3±68.6 315.9~514.0	199.9±79.4 75.2~276.6	113.2±105.9 33.2~331.8
Ballast	4	400	1.30±0.10 1.21~1.44	69.00±6.90 52.30~77.66	0.34±0.14 0.14~0.46	393.4±130.2 291.0~583.8	160.7±26.7 138.7~194.1	91.0±51.2 46.0~158.8

^{a)}Mean±SD, ^{b)}Min~Max

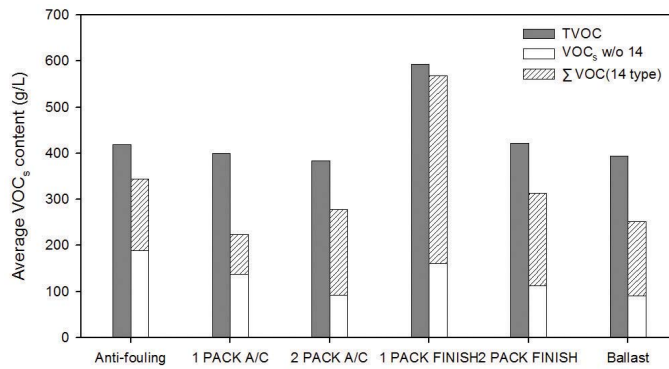


Fig. 1. The comparison of average VOC_s content of tested paints.

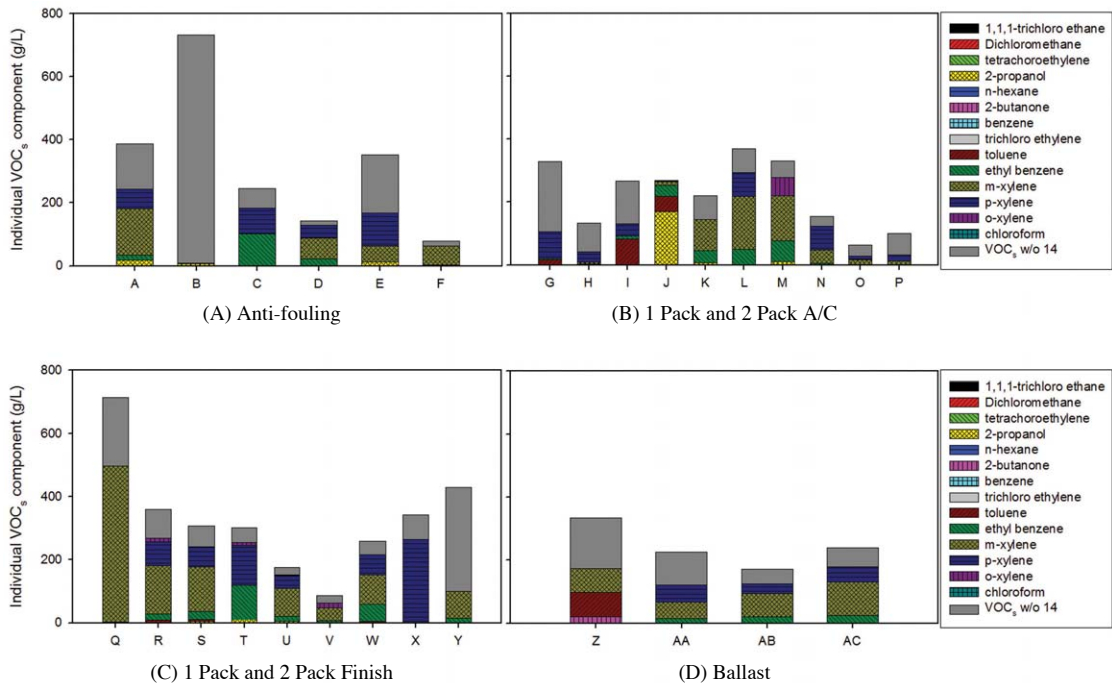


Fig. 2. The distribution of individual components in marine paints.

4. 3 개별 VOCs의 잠재적 오존발생량

용도별로 MIR과 POCP기준의 평균 잠재적 오존발생량을 표 5에 제시하였으며, 이를 그림 3과 같이 2015년 함유기준과 함께 TVOC 대비 오존발생 변화량을 나타내었다. 결과를 살펴보면, 1액형 마감도료의 평균 TVOC 함량은 592.7 g/L로 가장 높은 잠재적 오존발생량을 보였는데 이는 1액형 마감도료와

희석제의 m,p-xylene의 함량이 다른 도료와 비교하여 약 3배 많아 잠재적 오존발생량이 증가한 것으로 사료된다. 또한 2액형 방청도료의 경우 TVOC 함량이 384.0 g/L로 가장 낮았으나 오존생성기여도가 높은 ethyl benzene과 toluene을 포함하여 약 4배 이상의 잠재적 오존발생량이 증가한 것으로 사료된다. 1액형 방청도료의 경우 상대적으로 오존생성기여도가

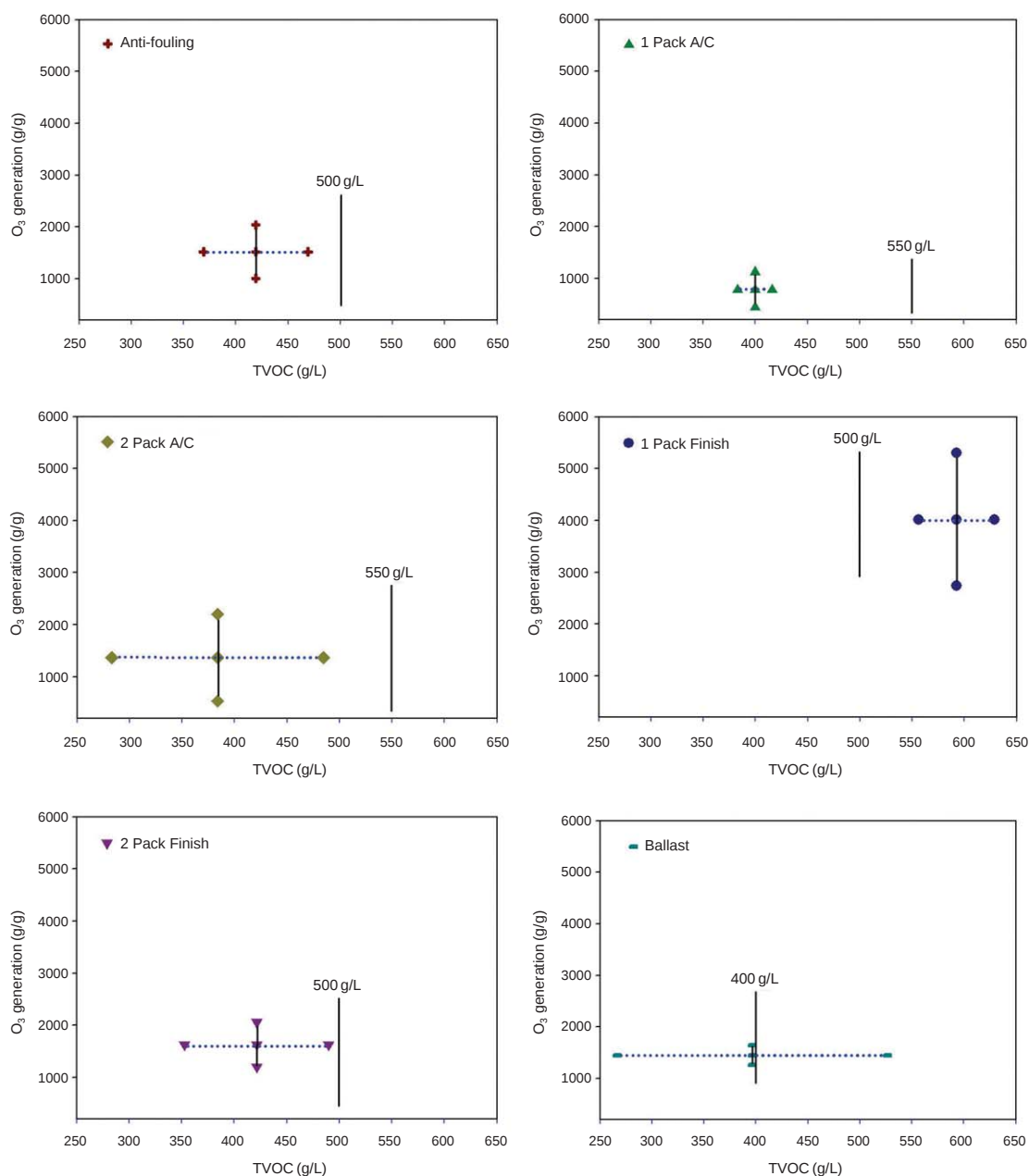


Fig. 3. The variation of generated O_3 with TVOC contents in tested marine paints (line: VOC₈ legal standard).

낮은 물질의 함량이 높아 잠재적 오존발생량이 낮게 나타났다. 이와 같은 결과를 고려하면, xylene류 함유량이 선박용 도료의 잠재적 오존발생량 변화에 크게 영향을 주는 물질임을 보여준다. 이는 기존 오존

전구물질의 측정이나 광화학모델링에서의 배출량 자료 분석에 관한 기존 연구에서도 볼 수 있는데, Seo *et al.* (2012)은 남해안의 오존전구물질 중 xylene의 농도가 높았음을 보고하였으며 Kim (2011)은 도시대

Table 5. The calculated O₃ generation of VOC_s in marine paints by ozone generation index.

Classification	TVOC (g/L)	O ₃ generation (g · O ₃ /g · VOC)	
		MIR	POCP
Anti-fouling	419.1 ± 50.0 ^{a)}	1,520.0 ± 514.4	24,373.8 ± 8,695.2
	347.8 ~ 467.7 ^{b)}	1,074.9 ~ 2,529.0	13,533.6 ~ 35,838.3
1 Pack A/C	399.6 ± 16.4	774.0 ± 341.4	14,722.4 ± 6,062.8
	388.4 ~ 418.5	446.4 ~ 1,245.0	9,541.3 ~ 23,229.3
2 Pack A/C	384.0 ± 100.9	1,366.9 ± 835.1	19,746.3 ± 11,594.6
	216.5 ~ 501.1	324.8 ~ 2,660.3	4,846.4 ~ 37,261.0
1 Pack Finish	592.7 ± 36.3	4,013.5 ± 1,285.9	51,702.6 ± 14,512.3
	567.0 ~ 618.4	2,727.6 ~ 5,299.3	37,190.3 ~ 66,214.9
2 Pack Finish	421.3 ± 68.6	1,625.8 ± 429.9	25,130.8 ± 7,826.5
	315.9 ~ 514.0	718.9 ~ 2,156.6	9,484.3 ~ 32,568.1
Ballast	393.4 ± 130.2	1,446.5 ± 190.2	20,645.9 ± 2,299.1
	291.0 ~ 583.8	1,219.1 ~ 1,685.0	17,239.1 ~ 23,515.2

^{a)}Mean ± SD, ^{b)}Min ~ Max

기오존생성의 전구물질인 ARO2 군의 주요 물질인 xylene 배출량 불확도가 모델링 결과의 정확도에 미치는 영향이 컸음을 보고하였다. 또한 Kim and Lee (2011)는 오존전구물질 배출량 중 ARO2 군의 중요성을 강조하였다.

용도별 농도를 기준으로 비교하면, 1액형 방청도료와 2액형 방청도료의 TVOC 함량은 평균 384.0~399.6 g/L로 비슷한 농도를 보였으나, 잠재적 오존발생량은 2액형 방청도료가 평균 1.6배 높게 나타났다. 따라서 향후에는 xylene류의 함량 감소를 위한 용제 대체 같은 방법을 통해 위 도료를 중점적으로 관리하는 것이 오존저감 효과가 상대적으로 클 것으로 판단된다. 1액형 방청도료는 오존생성기여도가 낮아 향후 규제 기준 강화 시 오존저감 효과는 상대적으로 미비할 것으로 여겨진다. 발라스트 도료의 경우, 같은 제품의 TVOC 함량이 최대 260 g/L로 큰 차이를 보였지만 오존발생 변화량은 상대적으로 작아 오존저감 효과는 다른 도료와 비교하여 낮을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 사용량이 높은 선박용 도료의 VOC_s 함량분포 및 성분, 오존생성능력을 분석함으로써 향후 잠재적 오존발생량을 효과적으로 저감시킬 수 있는 방안을 마련하고자 수행하였으며, 다음과 같은 결

론을 도출하였다.

1) TVOC 함량은 300~400 g/L, 400~500 g/L 사이의 도료가 전체의 36.7%를 이루었다. 규제지정물질인 14종 함량은 100~200 g/L 사이인 도료가 전체의 46.7%를 차지하였으며, 비지정물질을 포함한 총 31종 물질은 TVOC 함량에 근접하였다.

2) GC/MS 및 GC/FID 분석결과, 총 31종 물질 중 m,p,o-xylene, ethyl benzene, toluene, 2-propanol 위주로 검출되었으며, 특히 오존생성기여도가 높은 xylene류가 전체 함량의 평균 50% 상회하였다.

3) 용도별 잠재적 오존발생량을 비교한 결과, 1액형 마감도료, 2액형 마감도료, 방오도료, 2액형 방청도료, 발라스트 도료, 1액형 방청도료 순으로 관리하는 것이 잠재적 오존발생량의 저감효과가 높을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2011년 국립환경과학원의 지원을 받아 수행된 것임.

References

Carter, W.P.L. and R. Atkinson (1989) Computer modeling stu-

- dy of incremental hydrocarbon reactivity, *Envir. Sci. Technol.*, 23, 864-880.
- Choi, Y.J. (2012) A Volatile Organic Compounds management plan for the improvement of atmosphere environment, SDI policy report of The Seoul Institute, 122, 1-15.
- Derwent, R.G., M.E. Jenkin, and S.M. Saunders (1996) Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under european conditions, *Atmos. Environ.*, 30(2), 181-199.
- ISO (2006) Paints and varnishes application of paints and related products - Determination of volatile organic compound content - Part 2: Gas chromatographic, 5-9.
- Jung, S.Y., K.H. Kim, K.H. Kang, D.G. Kim, and J.H. Hong (2007) The Analysis on the VOC_s contents of paint products on the domestic market in Korea, *J. Korean Soc. Environ. Anal.*, 10(3), 154-168. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.G., J.H. Hong, J.S. Kim, K.H. Kang, M.R. Won, and S.Y. Jung (2006) A Improvement of Evaluation Method for VOC_s Content in Paint, Research papers of NIER, 2, 37-73.
- Kim, S.T. (2011) Ozone simulations over the seoul metropolitan area for a 2007 June episode, part I: evaluating volatile organic compounds emissions speciated for the SAPRC99 chemical mechanism, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 27(5), 580-602. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.T. and C.B. Lee (2011) Estimating influence of local and neighborhood emissions on ozone concentrations over the Kwang-Yang bay based on air quality simulations for a 2010 June episode, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 27(5), 504-522. (in Korean with English abstract)
- Korea MOE (2002) The study for VOC_s content standards of paint and ink, 1-13 pp.
- Korea MOE (2012) Notification No. 2012-130 of the Ministry of the Environment.
- Korea MOE (2013) Advance legislation notice of revised bill on Clean Air Conservation Act enforcement regulations, 10-12 pp.
- Korea NIER (2006) Guidelines for VOC_s content analysis in paint, 3-53 pp.
- Korea NIER (2013) Mandatory of volatile organic compounds content mark, main culprit of ozone production, 1-5 pp.
- KOSAE (2006) Study on the THC reduction technology and regulatory standards in shipbuilding, 21-67.
- Ldartools (2011) <http://www.ldartools.com/document/market-ing/FID-response-factors.pdf>
- Lee, J.H., J.S. Han, H.K. Yun, and S.Y. Cho (2007) Evaluation of incremental reactivity and ozone production contribution of VOC_s using the PAMS data in seoul metropolitan area, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 30(3), 245-250. (in Korean with English abstract)
- Seo, S.J., S.Y. Kim, M.D. Lee, J.S. Choi, S.Y. Kim, S.J. Lee, J.S. Kim, and G.W. Lee (2012) The analysis of spatial distribution of ozone in the southern coast of Korea using the aircraft (2009, summer), *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 28(1), 12-21. (in Korean with English abstract)