

조선소 주변지역에서 휘발성유기화합물 및 알데히드류의 농도분포 특성

박정호 · 서정민* · 한성종**

진주산업대학교 환경공학과, *부산대학교 지역환경시스템전공,

**한국폴리텍Ⅶ대학 산업설비학과

(2008년 3월 18일 접수; 2008년 6월 10일 채택)

Characteristics of Atmospheric Concentrations of Volatile Organic Compounds and Aldehydes for Near a Shipyard

Jeong-Ho Park, Jeong-Min Suh* and Seong-Jong Han**

Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

**Department of Environmental System Engineering, Busan National University, Miryang 627-706, Korea*

***Korea Polytechic VII Colleges, Jinju 660-996, Korea*

(Manuscript received 18 March, 2008; accepted 10 June, 2008)

Abstract

This study was carried out to evaluate the characteristics of atmospheric concentrations of volatile organic compounds(VOCs) and aldehydes for near a large shipyard. Most of the painting work in marine coating is performed indoor and outdoor. Most of the VOCs are emitted to the atmosphere as the paint is applied and cures. The massive scale of a ship makes it difficult to capture the emissions from outdoor painting. The VOCs are an important health and contributors to photochemical smog. The VOCs and aldehydes samples were collected using adsorbent tube and 2,4-DNPH cartridge, and were determined by an automatic thermal desorption coupled with GC/MS and HPLC-UV analysis, respectively. A total of 16 aromatic VOCs and 12 aldehydes of environmental concern were determined. At indoor coating facilities, the most abundant compound among 16 target VOCs appeared to be m,p-xylene, being followed by o-xylene. But most of the aldehydes were extremely lower concentrations. The atmospheric concentration of VOCs, m,p-xylene concentrations were the highest and the mean value were outdoor workshop 11.323 ppb, residential area 5.134 ppb, and green area 2.137 ppb, respectively. However, the most aldehydes were extremely lower concentrations such as formaldehyde, acetaldehyde and non-detection such as iso-valeraldehyde, n-valeraldehyde and o-tolualdehyde.

Key Words : Shipyard, VOCs, Aldehyde, Indoor coating facilities, Atmospheric concentrations

1. 서 론

우리나라의 조선업은 2000년대에 들어와 세계적

인 수준으로 발전하여 선박수주와 선박수리부분에서 세계정상을 차지하고 있다¹⁾. 최근 조선업의 경기호황으로 인해 각 지자체에서는 지방경제 활성화를 위해 조선산업 유치에 적극적이거나, 선박 건조 과정은 일반 제조업보다 규모가 훨씬 크고 블록조립, 탑재, 연마, 탈청, 도장작업 등 매우 다양한 작업공정

Corresponding Author : Jeong-Min Suh, Department of Regional environmental system engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea
Phone: +82-55-350-5436
E-mail: suhjm@pusan.ac.kr

이 옥내뿐만 아니라 옥외에서도 이루어지므로 근로자나 주변지역에 미치는 노출 유해인자의 종류나 노출 양상이 매우 복잡해 질수 있는 등 환경문제가 큰 변수로 작용되고 있다.

특히, 선박건조시 필수공정인 도장작업은 다량의 유기용제 사용으로 증기압이 높은 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, 이하 VOC)이 주변 대기 중으로 쉽게 확산될 수 있으며, 페인트 비산분진이나 악취문제 등 조선소 주변지역 주민들과의 크고 작은 환경문제가 일어날 수 있다. 그러나 현재 대기환경보전법상 VOC 관리기준은 특별대책지역과 대기환경규제지역 이외의 지역 및 용적규모 5만 m³ 이상인 도장시설과 선박 건조공정의 야외구조물 및 선체의판 도장시설은 대기오염 배출시설에서 제외되어 있어, 조선소의 VOC 관리에 대한 법적·행정적 기준이 모호한 실정이다^{2,3}). 이에 최근 환경부는 국내 대형조선업체와 자발적인 협약을 통해서 5년간 VOC 30% 자율적 저감 및 대기환경 관리체계 구축 등 VOC 저감을 위한 대책을 마련하고 있다⁴). 참고로 선박도장시설에서의 VOC 배출량은 1998년 33,527톤, 2000년 43,778톤으로 보고 되고 있으나⁵), 최근 국내 조선업의 호황에 따라 이보다 훨씬 많은 VOC가 지속적으로 배출될 것으로 예상된다.

한편, 대기 중으로 배출된 VOC는 인체 유해성뿐만 아니라 대기 중 오존 및 광화학 옥시던트 농도를 증가시키는 원인물질로서 국내외 많은 연구자들의 주요 연구대상이 되고 있다. 특히, 국내에서는 오염이 심한 공단지역이나 대도시 등의 측정사례가 여러 연구자에 의해 보고 되고 있으며⁶⁻⁹), 각종 VOC 특정 배출원에 대한 연구 또한 일부 연구자들에 의해 수행되고 있다¹⁰⁻¹²). 그러나 조선소 및 인근 주변지역의 VOC 농도 실태조사 등에 대해 일부 연구사례는 있으나^{13,14}), 세계정상인 국내 조선업의 위상에 걸맞는 다양한 연구결과는 아직 미미한 수준이다. 결국 세계정상인 국내 조선업의 지속적인 경쟁력 확보와 조선업의 친환경적인 이미지 구축을 위해서는 조선소 주변지역의 각종 환경문제에 대해 보다 적극적인 실태조사를 통해 적합한 저감대책의 모색이 매우 중요하다.

본 연구에서는 선박도장시 배출되는 VOC에 의한 조선소 주변지역의 농도 특성을 검토하기 위하

여 국내 대표적인 대형 조선사인 A 조선소를 연구 대상으로 옥외 작업장 및 주변 주거지역 등에서 VOC 및 알데히드류의 대기 중 농도 실태조사를 실시하였으며, 이는 향후 국내 조선업의 합리적인 환경문제 관리방안 구축을 위한 기본적인 정보를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

본 연구의 대상 사업장인 A 조선소는 경남에 위치한 국내 대표적인 대형조선사이며, 선박도장시설의 약 90%가 옥내작업으로 이루어져 있고 옥내도장시설은 활성탄 흡착방지시설이 설치되어 있다. 지형적 입지여건은 사업장 주변으로 대부분 바다와 산 등 녹지지역으로 둘러싸여 있고 사업장 부지경계선의 남쪽 일부지역이 주거지역과 인접해 있다.

한편, 본 연구에서는 우선 선박도장과정에서 발생될 수 있는 VOC 및 알데히드류의 주요 구성성분을 파악하기 위해 A 조선소 옥내도장시설 내부에서 각각 4회에 걸쳐 시료를 채취하였다. 또한, 본 사업장 및 주변지역의 대기 중 농도특성을 파악하기 위하여 본 사업장 중앙에 위치한 야외 작업장(S-1 지점)과 야외 작업장으로부터 약 1 km 정도의 이격거리를 두고 있는 사업장 부지경계선의 주변 주거지역(A-1 지점) 및 산으로 둘러싸여 있는 녹지지역(A-2 지점) 등 3개 지점에서 시료를 채취하였다.

지점별 대기 중 시료채취 기간은 2006년 6월에서 12월 사이 총 4회에 걸쳐(1차 : 2006년 6월 13일~14일, 2차 : 2006년 8월 9일~10일, 3차 : 2006년 10월 12일~13일, 4차 : 2006년 12월 5일~6일) 각각 1일간 시료를 채취하였다.

대기 중 VOC 시료채취 방법은 고체흡착관(Tenax TA, Supelco)과 휴대용 펌프(MP-Σ30, SIBATA사)를 사용하여 100 ml/min 유속으로 주야간별로 3시간 동안 채취하였다. 단, 옥내도장시설에서는 10분간 시료를 채취하였다. 흡착관은 시료채취 전 고순도 질소를 이용하여 열탈착시켜 불순물을 깨끗하게 탈착시킨 후 사용하였으며, 시료로 채취된 흡착관은 최소한의 오염을 막기 위하여 마개로 막고 파라필름, 알루미늄 호일 등으로 완전히 밀봉한 후 현장에서 냉장보관 상태로 실험실로 가져와 GC/MS로 분석하

였다. 또한, 대기 중 알데히드류의 시료채취는 오존 스크리버를 전단부에 설치한 2,4-DNPH 카트리지 (S10, Supelco)와 휴대용 펌프(MP- Σ 100, SIBATA사)를 이용하여 유속 1 l/min으로 주야간별 1시간 동안 포집하고 HPLC-UV로 분석하였다.

그 결과 본 연구에서는 이상치 및 시료채취과정에서 오류가 발생한 시료들을 제외하고 계절별 총 4회에 걸쳐 VOC의 경우 야외 작업장 11개, 주거지역 57개, 녹지지역 14개 등 총 82개 시료 그리고 알데히드류의 경우 야외 작업장 8개, 주거지역 16개, 녹지지역 13개 등 총 37개 시료에 대한 농도 분석을 본 논문에서는 제시하였다.

2.2. 분석방법

고체흡착관에 채취된 VOC 시료는 자동열탈착장치(ATD-400, Perkin Elmer)와 연결된 GC/MS(Clarus 500, Perkin Elmer)를 사용하여 분석하였으며, 시료의 정성 및 정량을 위하여 VOC 혼합표준가스(TO-14A Calibration Mix, Spectra Gases)를 사용하였다. 본 연구에서는 벤젠 등 환경부 유해대기측정망의 측정항목 13가지 종류 및 옥내도장시설의 주요 구성성분인 1,3,5-trimethyl benzene 등 3가지 종류 등 총 16가지 종류의 방향족 VOC를 분석대상으로 하였다¹⁵⁾.

알데히드류는 채취된 DNPH 카트리지를 HPLC grade의 아세토니트릴로 추출한 후 HPLC(Series 200, Perkin Elmer)에 주입하여 분석하였다. 시료의 정성 및 정량 분석을 위해 혼합표준용액(Aldehyde-Ketone-DNPH TO-11A Calibration Mix, Restek)를 사용하였으며, 본 연구에서는 formaldehyde 등 총 12가지 종류의 알데히드류를 분석대상으로 하였다. Table 1에는 열탈착장치 및 GC/MS 그리고 HPLC의 분석조건을 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 옥내도장시설

국내 대형 조산사의 경우 도장작업시 사용되는 페인트의 종류만 해도 수백종에 이르고 있는 등 도장시설에서 사용되는 페인트의 종류는 매우 다양하며 각 페인트에 함유된 성분도 매우 다양하다. 페인트를 취급하는 업종, 도장의 주요 목적, 제조회사 또는 제품 등 매우 다양한 요인에 따라 함유성분에 차이가 있다. 또한, 안료 등 페인트 원료를 용해시키거나 분산시킴으로써 피도장 물체에 도포할 수 있는 제재로 유지시키는 용제는 도장공정에서 가장 일반적인 유해물질이다. 용제는 대부분의 페인트에 포함되어 있으며 또한 이것과 일정한 비율로 배합하여 사용하는 희석제와 경화제에도 포함되어 있다¹³⁾.

Table 1. Analysis conditions of GC/MS and HPLC

Instrument	Conditions
TD (ATD-400, Perkin Elmer)	Thermal Desorption condition
	· Cold trap adsorbent : Tenax TA
	· Oven temp : 320°C
	· Desorb flow : 30 ml/min, 10 min
	· trap high temp : 320°C
	· trap low temp : -30°C
GC/MS (Clarus 500, Perkin Elmer)	GC/MS condition
	· Column : Elite-1(60 m, 0.32 mm, 1 μ m)
	· Carrier gas : Helium
	· Column flow : 1.0 ml/min
	· Final temp : 40°C (5 min) \rightarrow 8°C/min \rightarrow 200°C
	· MS ion source temp : 230°C
HPLC (Series 200, Perkin Elmer)	· Column : C-18 column(ODS, 150 mm, 4.6 mm)
	· Detector : UV-vis. 360 nm
	· Injection volume : 20 μ l
	· Flow rate : 1.2 ml/min

또한, 선박 도장작업은 옥내도장시설 및 야외 작업장에서 이루어지고 있으며, 야외에서 이루어지는 도장작업은 페인트 중에 포함되어 있는 유기용제 거의 대부분이 대기 중으로 배출되어 질수밖에 없다. 또한, 옥내도장시설의 경우에도 규모가 5만㎡ 이하의 시설인 경우 방지시설을 설치하도록 규정되어 있으나, 통상 도장시설의 VOC 방지시설로 가장 많이 적용되는 활성탄 흡착탑의 경우에도 VOC 처리 효율이 80% 이하로 완전한 처리가 불가능하기 때문에 옥내도장시설에서도 일부 VOC는 대기 중으로 배출될 수밖에 없다^{16,17)}.

본 사업장은 연간 xylene 558톤/년, toluene 39톤/년 등의 유기용제 배출량을 신고하고 있으며, 전체 도장작업 중 약 90% 정도를 옥내도장시설에서 실시하고 있다. Table 2에는 A 조선소 도장시설에서 발

생되는 VOC 및 알데히드류의 주요 구성성분을 파악하기 위하여 옥내도장시설 내부에서 시료를 4회씩 각각 채취하고 분석한 결과를 나타내었다.

옥내도장시설에서는 16가지 종류의 방향족 VOC 분석대상 성분 중 m,p-xylene과 o-xylene 등이 십수 ppm 수준으로 높게 검출되었으며, 1,2,4-trimethyl benzene, 1,3,5-trimethyl benzene, toluene, ethyl benzene, 4-ethyl toluene 등이 수ppm의 농도 순으로 나타났다. 또한, Fig. 1.에 나타낸 바와 같이 VOC 성분 농도의 구성비율을 살펴보면, m,p-xylene 30.2% > o-xylene 30.0% > 1,2,4-trimethyl benzene 10.2% > 1,3,5-trimethyl benzene 10.0% > toluene 8.5% > ethyl benzene 5.9% > 4-ethyl toluene 4.1%의 순으로 높게 나타났다.

결국 옥내도장시설에서는 xylene 구성성분이 전

Table 2. Concentrations of VOCs and aldehydes at indoor coating facilities

Composition	Concentration (ppb) (n=4)		
	Mean	Range	
VOCs	1,3-Butadiene	1.23	n.d ~ 4.24
	1,1-Dichloroethane	0.65	n.d ~ 2.23
	Chloroform	< 0.1	n.d ~ 0.25
	Methyl chloroform	275.44	0.27 ~ 1,031.53
	Benzene	112.17	n.d ~ 318.33
	Carbon tetrachloride	26.28	n.d ~ 58.93
	Trichloroethylene	0.31	n.d ~ 0.33
	Toluene	3,710.94	15.41 ~ 14,758.72
	Tetrachloroethylene	5.09	0.76 ~ 10.02
	Ethyl benzene	2,564.16	3.02 ~ 9,424.52
	m,p-Xylene	13,146.80	1.91 ~ 51,938.65
	Styrene	34.81	0.50 ~ 113.15
	o-Xylene	13,062.80	2.63 ~ 51,938.65
	1,3,5-TMB	4,362.48	2.23 ~ 17,382.63
	1,2,4-TMB	4,439.31	102.52 ~ 17,382.63
	4-Ethyl toluene	1,766.21	2.87 ~ 5,068.55
Aldehydes	Formaldehyde	0.013	0.013 ~ 0.022
	Acetaldehyde	0.023	0.018 ~ 0.039
	Acrolein+Acetone	< 0.001	n.d ~ 0.002
	Propionaldehyde	0.005	n.d ~ 0.011
	Crotonaldehyde	0.002	n.d ~ 0.007
	Butyraldehyde	0.003	n.d ~ 0.013
	Benzaldehyde	0.065	n.d ~ 0.241
	Iso-Valeraldehyde	n.d	n.d
	n-Valeraldehyde	n.d	n.d
	o-Tolualdehyde	0.010	n.d ~ 0.038
	m&p-Tolualdehyde	0.018	n.d ~ 0.070
	2,5-Dimethylbenzaldehyde	n.d	n.d

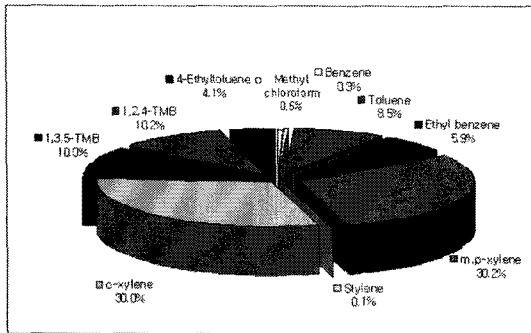


Fig. 1. Composition ratio of VOCs at indoor coating facilities.

체 VOC 중 약 60% 정도로 가장 높은 구성성분으로 나타났으며, 이는 조선업에서 취급되는 페인트, 희석제 및 경화제 등 유기용제 중에서 주로 출현하는 성분은 xylene으로 희석제 제품의 약 60%에 함유되어 있으며, 평균 함량은 67.1%이라고 보고와 유사한 경향을 나타내었다¹³⁾. 통상 건축용 유성도료 및 자동차 도료 등에서의 주요 구성 성분인 toluene의 경우 구성비가 8.5%로 비교적 낮게 나타났으며¹¹⁾, 일반 산업공정의 주요 배출원인인 styrene의 경우도 0.1%이하로 매우 낮게 나타났다.

한편, 도장공정에서 도장 후 도막을 금속표면에 고착시키기 위해서는 가열처리를 하게 되면 유기용제가 휘산됨과 동시에 안료 등이 열분해 되어 알데히드류가 발생될 수 있다¹⁸⁾. 그러나 본 연구에서 알데히드류의 농도는 VOC에 비해 거의 매우 낮은 농도이거나 불검출로 나타났다. 특히, benzaldehyde 및 acetaldehyde 등의 성분은 각각 0.065 ppb, 0.023 ppb로 미량 검출되었으며, iso-valeraldehyde, n-valeraldehyde 등은 본 연구대상 시설에서는 불검출로 나타났다.

3.2. 대기 중 VOC 농도 특성

여기서는 본 사업장의 야외 작업장(S-1 지점)과 사업장 부지경계선에 인접한 주거지역(A-1 지점) 및 녹지지역(A-2 지점) 등 대기 중의 VOC 농도 특성을 살펴보았다. 한편, 본 사업장 야외 작업장은 옥내도장시설에서 도장작업이 완료된 블록을 야외에서 조립, 연마, 탈청, 도장 등의 작업이 진행되는 장소로서 특히, 전체 도장작업 중 약 10% 정도를 야외 작업장에서 실시하고 있다.

Table 3에는 각 지점별 VOC 농도 특성을 나타냈

다. 전반적으로 VOC 농도는 지점별, 시간적 차이에 따라 농도 분포가 크게 나타났으나 야외 작업장, 주거지역 및 녹지지역 등 모든 지점에서 도장시설의 주요 구성성분인 xylene이 가장 높게 검출되었다. 이러한 결과는 대형조선소 주변 대기에서 VOC 성분 중 xylene의 농도가 가장 높게 나타나고 있다는 조사보고와 비슷한 경향으로 나타났다¹⁹⁾.

VOC 성분별 평균농도는 S-1 지점의 경우 m,p-xylene 11.323 ppb > o-xylene 7.379 ppb > ethyl benzene 5.357 ppb > toluene 2.676 ppb의 순으로 나타났다. A-1 지점은 m,p-xylene 5.134 ppb > o-xylene 3.490 ppb > ethyl benzene 1.849 ppb > 4-ethyl toluene 1.783 ppb > toluene 1.581 ppb의 순으로, A-2 지점은 m,p-xylene 2.137 ppb > ethyl benzene 2.092 ppb > toluene 1.056 ppb > styrene 0.752 ppb > o-xylene 0.628 ppb의 순으로 높게 나타났다.

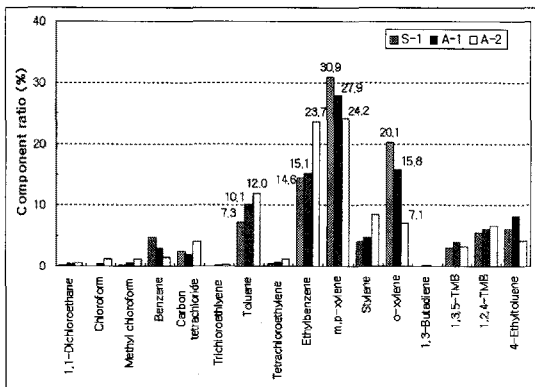
한편, 지점별 농도특성은 거의 대부분의 VOC 성분이 야외 작업장이 주변지역보다 높게 나타났으며, 특히 분석대상 16종 VOC의 총 농도로 비교해보면 S-1 지점 36.625 ppb > A-1 지점 13.017 ppb > A-2 지점 8.829 ppb 등 야외 작업장이 주거지역보다 약 2.8배, 녹지지역보다 약 4.2배 높게 나타났다.

Fig. 2에는 지점별 VOC의 구성농도비를 나타내었으며, 전반적으로 VOC 성분에 따라 각 지점의 농도 기여율이 각각 다른 경향을 보이고 있었다. 특히, 옥내도장시설의 주요 구성성분인 m,p-xylene의 경우 S-1 지점 30.9%, A-1 지점 27.9%, A-2 지점 24.2%의 순으로 야외 작업장이 주변지역보다 비교적 높은 구성비로 나타났으며, o-xylene의 경우 또한 이러한 경향을 나타내고 있다. 반면, 옥내도장시설에서 농도 구성비가 8.5%로 비교적 낮은 toluene의 경우 통상 일반 대기 중에서 자동차, 주유소, 세탁소 등 발생원이 다양하고 가장 높은 농도인 것으로 보고되고 있는데¹⁵⁾, 지점별로는 A-1 지점 12.0%, A-2 지점 10.1%, S-1 지점 7.3%의 순으로 야외 작업장보다 주변지역이 비교적 높은 구성비로 나타나는 경향을 보였다.

따라서 청정 바닷가에 위치한 본 사업장의 주변 지역은 조선소이외의 큰 인위적 발생원의 영향이 적은 지리적 조건임에도 불구하고 도장시설의 주요 배출 VOC 구성성분인 xylene의 농도가 가장 높았

Table 3. Concentrations of VOC at outdoor workshop and near a shipyard

VOC	Concentration (ppb)		
	Outdoor workshop(S-1) (n=11)	Residential area(A-1) (n=57)	Green area(A-2) (n=14)
1,3-Butadiene	0.006 (n.d ~ 0.019)	0.053 (0.002 ~ 0.163)	0.000 (n.d ~ 0.002)
1,1-Dichloroethane	0.032 (n.d ~ 0.084)	0.069 (n.d ~ 0.216)	0.053 (n.d ~ 0.184)
Chloroform	0.022 (n.d ~ 0.054)	0.013 (n.d ~ 0.050)	0.107 (n.d ~ 0.392)
Methyl chloroform	0.068 (0.005 ~ 0.242)	0.054 (n.d ~ 0.162)	0.104 (n.d ~ 0.247)
Benzene	1.787 (0.998 ~ 2.626)	0.653 (0.007 ~ 0.829)	0.139 (0.003 ~ 0.268)
Carbon tetrachloride	0.877 (n.d ~ 1.626)	0.173 (0.048 ~ 1.263)	0.370 (0.003 ~ 1.263)
Trichloroethylene	0.022 (0.002 ~ 0.064)	0.018 (0.008 ~ 0.037)	0.028 (n.d ~ 0.073)
Toluene	2.676 (1.693 ~ 3.914)	1.581 (0.200~ 5.493)	1.056 (0.072~ 3.197)
Tetrachloroethylene	0.149 (0.013 ~ 0.474)	0.063 (0.008 ~ 0.146)	0.109 (0.002 ~ 0.340)
Ethyl benzene	5.357 (0.324 ~ 11.008)	1.849 (0.042 ~ 5.412)	2.092 (0.001 ~ 7.427)
m,p-Xylene	11.323 (0.053 ~ 19.093)	5.134 (0.106 ~ 22.986)	2.137 (0.060 ~ 7.409)
Styrene	1.525 (0.016 ~ 5.686)	0.497 (0.048 ~ 1.473)	0.752 (n.d ~ 2.231)
o-Xylene	7.379 (0.073 ~ 21.823)	3.490 (0.147 ~ 13.386)	0.628 (0.045 ~ 1.616)
1,3,5-TMB	1.107 (0.672 ~ 1.678)	0.749 (0.287 ~ 1.861)	0.290 (0.052 ~ 0.637)
1,2,4-TMB	2.033 (0.835 ~ 3.825)	1.026 (0.108 ~ 1.860)	0.592 (0.014 ~ 1.306)
4-Ethyl toluene	2.252 (0.142 ~ 3.114)	1.783 (n.d ~ 7.513)	0.371 (n.d ~ 1.157)
Sum	36.625	13.017	8.829

**Fig. 2.** Composition ratio of VOC at outdoor workshop and near a shipyard.

며, 반면 일반적인 대기환경 중에서 가장 높은 농도 수준을 보이는 toluene의 농도 기여도가 비교적 낮다는 점은 사업장 배출로 인한 주변지역에 영향을 줄 수 있는 개연성을 고려할 수 있었다. 참고로 본 사업장 주변의 주거 및 녹지지역에서 나타난 m,p-xylene의 농도는 통상 일반 대기 중에서 상대적으로 높게 나타나는 대도시 도로변에서 3.77 ppb(0.17~113.4 ppb) 그리고 환경부 유해대기오염 측정망의 도로변지점에서 1.246 ppb(0.439~1.1786 ppb)의 측정결과에 비해 비슷하거나 높은 농도수준

으로 판단된다^{15,20)}.

그러나 사업장 주변지역의 VOC 농도변화 폭이 크고 xylene을 비롯한 toluene, ethyl benzene 등은 일반 대도시의 VOC 오염도 조사에서도 주요 오염물질로 나타나고 있다. 또한, 대기환경 중 VOC는 다양한 배출원에서 서로 다른 배출강도 및 대기 중 광화학 반응, 국지기상 요인 등 매우 복잡한 요인에 따라 농도의 변화가 크고 측정방법 등 측정결과와 불확도와 대표성에 문제가 있을 수 있으므로 향후 이러한 관점을 고려한 조선소 주변지역에서의 지속적인 VOC 모니터링과 매우 세심한 재평가가 추후 필요할 것으로 판단된다.

3.3. 대기 중 알데히드류의 농도 특성

조선소 주변환경 민원 중에는 악취로 인한 피해 영향을 호소하는 경우가 종종 있는데, 알데히드류의 일부 성분은 악취원인물질로 악취방지법에서 지정악취물질로 지정되어 있으며, 특히 사람에게 냄새로 느껴지기 시작되는 최소감지 농도는 acetaldehyde 약 0.002 ppm, propionaldehyde 약 0.002 ppm, butyraldehyde 약 0.0003 ppm 등 수 ppb 정도이다²¹⁾.

야외 작업장(S-1 지점)과 주거지역(A-1 지점) 및 녹지지역(A-2 지점) 등 대기 중에서 알데히드류의 농도분석결과를 Table 4에 나타냈다.

Table 4. Concentration of aldehydes at outdoor workshop and near a shipyard

Aldehydes	Concentration (ppb)		
	Outdoor workshop(S-1) (n=8)	Residential area(A-1) (n=16)	Green area(A-2) (n=13)
Formaldehyde	0.005 (0.002 ~ 0.007)	0.004 (n.d ~ 0.007)	0.002 (n.d ~ 0.006)
Acetaldehyde	0.004 (0.003 ~ 0.006)	0.003 (n.d ~ 0.005)	0.003 (n.d ~ 0.007)
Acrolein+Acetone	0.002 (n.d ~ 0.015)	0.001 (n.d ~ 0.002)	< 0.001 (n.d ~ 0.002)
Propionaldehyde	0.002 (n.d ~ 0.005)	0.001 (n.d ~ 0.004)	0.001 (n.d ~ 0.004)
Crotonaldehyde	0.001 (n.d ~ 0.004)	0.001 (n.d ~ 0.003)	0.001 (n.d ~ 0.004)
Butyraldehyde	0.001 (n.d ~ 0.002)	0.001 (n.d ~ 0.004)	< 0.001 (n.d ~ 0.002)
Benzaldehyde	0.001 (n.d ~ 0.007)	< 0.001 (n.d ~ 0.004)	< 0.001 (n.d ~ 0.002)
Iso-Valeraldehyde	n.d	n.d	n.d
n-Valeraldehyde	n.d	n.d	n.d
o-Tolualdehyde	n.d	n.d	n.d
m&p-Tolualdehyde	< 0.001 (n.d ~ 0.001)	n.d	n.d
2,5-Dimethylbenzaldehyde	< 0.001 (n.d ~ 0.001)	< 0.001 (n.d ~ 0.002)	< 0.001 (n.d ~ 0.001)

전반적으로 지점별 알데히드류의 농도 수준은 옥내도장시설에서 알데히드류 중 상대적으로 가장 높은 구성 성분으로 나타난 benzaldehyde를 비롯한 대부분의 성분이 VOC 농도나 초소감지 농도 등에 비해 매우 낮은 농도수준이거나 화합물에 따라서 불검출로 나타났다. 특히, formaldehyde의 경우 S-1 지점 0.005 ppb > A-1 지점 0.004 ppb > A-2 지점 0.002 ppb의 농도 순으로, acetaldehyde의 농도는 S-1 지점 0.004 ppb > A-1 지점 0.003 ppb > A-2 지점 0.003 ppb의 순으로 나타났다. 또한, iso-valeraldehyde, n-valeraldehyde, o-tolualdehyde 등은 본 연구조사기간 중에는 불검출로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 알데히드류 성분에 의한 사업장 배출이나 주변지역에 미치는 영향은 미미한 수준인 것으로 고려되어 진다.

4. 결 론

국내 조선업의 지속적인 경쟁력 확보와 환경민원에 대한 안정적인 운영을 위해서는 친환경적 이미지 구축과 더불어 합리적인 법적·행정적 관리기준의 검토가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 선박 도장작업시 배출될 수 있는 유해대기오염물질로 인한 사업장 주변지역의 영향 특성을 파악하기 위하여 국내 대표적인 대형 조선사인 A 조선소를 대상으로 도장시설의 주요 VOC 구성성분의 파악과 야외 작업장 및 주변지역의 대기 중 VOC 농도 실태조사를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1) 조선소 도장과정에서 배출될 수 있는 VOC 성분은 매우 다양할 수 있으며, 배출량은 유기용제 사용량, 도장작업의 옥내외 비율, 방지시설의 효율 등에 따라 크게 달라질 수 있다. 그러나 본 사업장의 옥내도장시설의 VOC 성분별 구성비율은 m,p-xylene 30.22%, o-xylene 30.02%, 1,2,4-trimethyl benzene 10.20%, 1,3,5-trimethyl benzene 10.03% 등 xylene 성분이 전체 VOC 중 약 60% 정도로 가장 높게 나타났다. 그러나 알데히드류의 성분은 상대적으로 매우 낮은 농도이거나 불검출로 나타났다.

2) 사업장 야외 작업장 및 주변지역의 대기 중에서는 모든 지점에서 도장시설의 주요 구성성분인 xylene의 농도가 가장 높게 나타나는 등 사업장의 VOC 배출로 인한 주변지역에 미치는 영향을 일부 고려할 수 있었다.

3) 대기 중 알데히드류의 농도 수준은 조사기간 중 모든 지점에서 대부분 매우 낮은 농도이거나 화합물에 따라서 불검출로 나타나는 등 최소한 본 사업장의 경우 알데히드류 성분에 의한 주변지역에 미치는 영향은 매우 미미한 것으로 나타났다.

한편, 대기 중 VOC 등 오염물질의 농도 특성은 지점별, 시간별, 기상조건 등에 따라 변화폭이 크고 기타 복잡한 영향 요인이 있을 수 있으므로 향후 지속적인 모니터링을 통한 세밀한 평가과정이 필요하겠다.

감사의 글

본 연구는 경남지역환경기술개발센터 연구개발

사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 한국조선공업협회, 2007, 조선해양산업기술로드맵 최종보고서, 2pp.
- 2) <http://www.me.go.kr>
- 3) 차준석, 홍지형, 김대곤, 이석조, 이덕길, 석광설, 이대균, 김정일, 2002, 휘발성유기화합물질 업종별 시설별 규제기준 설정 연구, 국립환경연구원보, 24, 165-180.
- 4) 환경부, 2007, 조선업체와 VOC 저감 자발적 협약 체결, 환경부 보도자료.
- 5) 환경부, 2001, VOC 배출억제·방지시설의 저감효율 및 농도기준 설정 등에 관한 연구, 19pp.
- 6) 조완근, 이진우, 2004, 대구지역 공단과 인근 주거 지역의 휘발성유기화합물질 오염도 평가, 한국환경과학회지, 13(6), 519-525.
- 7) 안상영, 최성우, 2005, 대구성서산업단지 발생원부지경계 대기 중 휘발성유기화합물질의 농도수준, 한국환경과학회지, 14(1), 53-60.
- 8) 김득수, 양고수, 박비오, 2007, 전주공단지역의 주요 VOCs 배출농도 측정 및 배출원별 특성 분석, 한국환경과학회지, 16(3), 299-310.
- 9) 백성욱, 박상곤, 김미현, 2002, 대도시 교통밀집지역 도로변 대기 중 휘발성유기화합물질의 농도 분포 특성, 한국대기환경학회지, 18(2), 113-126.
- 10) 백성욱, 김미현, 서영교, 2003, 발생원 유형에 따른 공기 중 휘발성 유기화합물질의 비산배출 특성 평가, 한국대기환경학회지, 19(4), 363-376.
- 11) 강경희, 김대곤, 홍지형, 정수연, 2007, 도로중 규제 대상 VOC 함유량 조사연구, 2007년 환경공동학술대회논문집, 432-435.
- 12) 김광래 등, 2006, 자동차 도장시설에서 발생하는 배출가스 특성, 한국대기환경학회, 추계학술대회 논문집, 408-410.
- 13) 신용철, 이광용, 1999, 조선업의 도장 작업시 취급하는 도로중 유해물질 성분에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 9(1), 156-172.
- 14) 박정호, 양수명, 정혜미, 강경희, 정성진, 김정원, 서정민, 2006, 조선소의 도장시설에서 발생하는 VOCs 배출특성, 한국환경과학회 가을 학술발표회지, 15(2), 142-143
- 15) 환경부, 2007, 대기환경연보, 19pp.
- 16) 차준석 외, 1999, 유해대기오염물질의 배출원적정관리방안연구- 도장시설에서의 유해대기오염물질 배출특성연구, 국립환경연구원보, 21, 93-107.
- 17) 한국조선공업협회, 2006, 조선업에 있어서 THC 저감기술과 규제기준에 관한 연구, 10pp.
- 18) 첨단환경기술, 2004, VOCs 배출억제기술의 현상과 전망, 26pp.
- 19) 낙동강유역환경청, 2005, 조선소 주변 휘발성유기화합물질 조사, 22pp.
- 20) 박지혜, 서영교, 백성욱, 2006, 대도시 및 주변 교외 지역의 대기 중 휘발성 유기화합물 농도 비교에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 22(6), 767-778.
- 21) 환경부, 2007, 악취관리 업무편람, 17pp.