

방청유 취급 근로자의 휘발성 유기화합물 노출 평가

정윤경^{1,2} · 최상준^{2*}

¹대구가톨릭산업보건센터, ²대구가톨릭대학교 산업보건학과

Exposure Assessment of Volatile Organic Compounds for Workers Handling Rust-preventive Oils

Yoonkeong Jeong^{1,2} · Sangjun Choi^{2*}

¹Daegu Catholic Industrial Health Center

²Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

ABSTRACT

Objectives : This study was conducted to evaluate the level of exposure to volatile organic compounds (VOCs) among workers handling rust preventive oils.

Methods : A total of 30 bulk samples and 54 personal air samples were collected using diffusive samplers at 22 workplaces handling rust preventive oils in Daegu and Gyeongsangbuk-do Province from March to October 2013. We also investigated detailed information on the related work conditions, such as kinds of products, handling methods, local exhaustive ventilation systems, and the status of the wearing personal protective equipment. All bulk samples and air samples were analyzed using gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) to identify components to which workers potentially were exposed. Quantitative airborne concentrations of VOCs were confirmed using gas chromatography with flame ionized detectors.

Results : In terms of qualitative analyses for the 30 bulk samples, we found carcinogenic, mutagenic and reproductive toxic(CMR) substances such as butane(carcinogenic Group 1A, mutagenic Group 1B), butoxy ethanol(carcinogenic Group 2), cumene (carcinogenic Group 2), ethyl benzene(carcinogenic Group 2), methyl isobutyl ketone(carcinogenic Group 2) and toluene (reproductive toxic, Group 2). As a result of full-shift based personal air samples, eight substances such as n-hexane, n-heptane, octane, nonane, decane, toluene, ethyl benzene and xylene were detected. Among them, n-hexane and n-heptane were detected in all of 54 air samples with 13.13 mg/m³ and 8.61 mg/m³ of maximum concentration, respectively. The level of airborne concentration from all of samples were below the occupational exposure limit in Korea.

Conclusions : Based on the results of this study, workers handling rust preventive oils could be exposed to CMR substances contained in rust preventive oils and n-hexane and n-heptane were found as the most frequent sources of VOC exposure.

Key words: CMR, rust preventive oil, volatile organic compounds

I. 서 론

방청유(rust preventive oil)는 부식억제제(방청첨가제)를 주로 하여 석유계 기체에 첨가한 것으로, 주요 목적은 금속의 대기부식을 일시 방지 하는 것이다(KATS, 2011). 한국윤활유공업협회에서 2013년 10월

에 발표한 국내 방청유 판매량은 12,939 kL(1월~9월)이었고, 2008년에서 2012년 사이 판매량이 평균 1.27% 감소하였으나, 2012년과 2013년의 같은 기간 동안 판매량을 비교하면 평균 13.4% 증가하였다(Im, 2013).

방청유는 크게 수용성과 비수용성으로 분류 할 수 있다. 수용성은 부식억제제와 석유계 기체에 물(water-based)이

*Corresponding author: Sangjun Choi, Tel: 053-850-3738, E-mail: junilane@gmail.com

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, 13-13, Hayang-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk, 38430

Received: March 7, 2017, Revised: March 19, 2017, Accepted: March 23, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다량 포함되어 있는 제품이며, 비수용성은 다핵방향족 탄화수소(poly-nuclear aromatic hydrocarbons, PAHs)가 포함된 나프텐계 또는 파라핀계, 염소, 인 또는 황이 포함된 극압첨가제로 이루어져 있는 제품을 말한다. 방청유는 산업표준화법에 의거하여 산업표준심의회의 심의를 거쳐 기술표준원장이 고시함으로써 확정되는 국가표준으로 약칭하여 한국산업표준(Korean standards, KS)로 표시한다. 표준분야는 화학(M)의 유지·광유로 나누어지며 화학일반기술심의회를 통해 규정한다. KS에서 규정된 방청 종류는 기화성 방청유(volatile rust preventive oil, KS M 2209), 지문제거형 방청유(corrosion preventive fingerprint remover, KS M 2210), 방청 윤활유(preservative lubricating oil, KS M 2211), 용제 희석형 방청유(corrosion preventive oils solvent dilution, KS M 2212) 및 방청 페트롤레이텀(corrosion preventive petrolatum, KS M 2213)로 분류된다.

방청유를 사용할 때 금속제품의 재질, 표면상태, 방청을 필요로 하는 시간과 기간, 경제성에 따라 방청 종류를 고려하여 선정되어야 한다(Kwon, 1999). 방청유의 형상은 상온일 때 액체에서 고체인 상태와 금속표면에 도포 시 연질막에서 경질막으로 구분된다. 사용 방법은 침지 도포법, 분무법, 붓칠법, 흘림 도포법, 굴림도포법, 충전법, 수도포법 등이 있다(BIT research center, 1991).

용제 희석형 방청유의 주요 조성 성분은 방청첨가제, 조막물질, 용제가 혼합되어 있다. 방청첨가제는 첨가제 분자가 금속표면에 물리적 또는 화학적으로 흡착하여 수분 및 산소의 침입을 차단하며, 주로 설펜산염, 에스테르화합물, 카르복실산 염계 화합물, 아민계 화합물, 인산염계화합물, 지방산 금속비누가 있다. 조막물질은 첨가제 분자의 흡착을 보조 및 보호하고, 유막 두께를 유지시켜주는 역할을 하며, 주로 중질광유(기유), 왁스(wax), 페트롤레이텀(petrolatum), 금속비누, 아스팔트(asphalt), 수지가 있다. 용제는 피막 물질을 균일하게 도포하기 위한 보조 작용을 하며, 주로 미네랄 스피릿(mineral spirit), 각종 등유 등이 있다(Kim et al., 2003).

방청유를 구성하고 있는 물질에 대하여 건강과 관련된 임상 증례들이 일부 보고되어 왔다. 1950년대 이전 Leitch(1924)에 의해 처음으로 광물유의 폭로와 피부암 발생과 관련이 있다는 것이 보고되었으며, Steinbruck(1929)와 Twort & Twort(1930) 등에서도 실

험동물로 노출과 발생에 대한 연관성을 보고하였다. 1950년 이후 Schwarz 등(1957)이 석유계 제품에 의해 직업성 피부염이 발생한다고 하였고, 이러한 사실은 1960년대에도 보고되었다. 1970년 이후 Tagami & Ogino(1973)는 4명의 아이들이 등유와 접촉 후 피부염이 발생되었다고 보고하였다. Emmet(1975)은 방청유가 사람에게서 피부암을 일으킬 수 있는 광물유가 포함되어 있다고 보고되었다. 1980년 이후 Jee et al.(1985)에 의해 등유는 피부 자극을 일으키는 원인으로 보고되었다.

국내 논문으로 방청유 취급 근로자의 접촉피부염의 기간 유병률 및 발생 특성을 파악하였다(Jin et al., 1997). 국제 연합기구의 IPCS(International Programme on Chemical Safety; WHO)에 따르면 방청유의 주요한 첨가제로 사용되는 특정한 바롬화합물이 인체의 근육 손상 또는 호흡기장애를 일으킬 수 있는 것으로 보고되었다(WHO, 1990). 그러나 현재까지 방청유를 취급하는 근로자에 대해 발표된 건강영향 연구는 일부 있었으나 노출 가능한 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)에 대한 평가 연구가 부족한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 방청유를 취급하는 근로자가 작업 현장에서 노출 가능한 방청유의 휘발성 성분을 확인하고, 방청유 취급 작업에서 발생하는 VOCs에 대한 공기 중 노출 수준을 평가하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상 및 자료 수집

본 연구는 2013년 3월부터 10월까지 대구·경북지역에 소재한 고용규모 150인 이하의 방청유 취급 사업장 22개 업체를 대상으로 실시하였다. 연구대상 업체를 방문하기 전 작업환경측정결과표를 통하여 방청유 취급 사업장 현황을 정리하였고, 이 후 전화통화로 조사에 대한 동의를 구하였다. 최종 선정된 사업장에 대해 현장 예비조사를 실시하였고, 각 사업장 담당자와 함께 방청유 사용 현황을 조사하였다.

조사 대상 업체의 업종 분류는 9차 한국표준산업분류를 활용하였고, 소분류를 기준으로 정리하였다(KOSTAT, 2009). 각 사업장에서 방청유 취급 근로자가 방청 작업 시 사용하는 제품의 용도, 종류, 제조일자, 사용 방법을 조사하였다. 방청유 사용 방법은

취급 근로자가 배치된 한 공정에서 작업 방법이 2가지 이하 또는 취급 방청유를 사용하는 공정이 달라서 작업 방법을 중복 체크 하였다. 방청유 취급 공정에 국소배기장치 설치여부, 개인보호구 착용상태는 예비조사를 통해 목록화하였고, 추후 공기 중 노출농도 측정 시 작업공정 및 근로자 작업형태가 변경될 수 있으므로 재확인하여 정리하였다.

취급 방청유 제품에 대해 품명, 제조사, 구성 성분, CAS(chemical abstract service) 번호를 정리하였다. 구성 성분을 정리 할 때 다양한 제품에 중복되어 함유된 성분의 경우 해당 성분의 함유율 정보는 최대 함유율을 제시하였다. 정리된 성분들의 CAS 번호를 TOXNET(toxicology data network; <http://toxnet.nlm.nih.gov/>)에 재검색하여 표준 명칭을 확인하였고 기재된 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheets, MSDS) 구성 성분과 표준 명칭을 비교하였다. 방청종류별 구성성분을 확인하였고, 확인된 표준 명칭들이 중복되는 경우 중복물을 제시하였다.

2. 방청유 원시료의 성분조사

조사 대상 업체 22개에서 확인된 방청유 32종 중 30종에 대해 고형시료(bulk samples)를 채취하여 정성 분석을 실시하였다. 방청유 2종은 캔에서 압력으로 분사하는 제품이었으며 정성 분석에서 제외하였다.

정성 분석된 방청유 원액 물질 명칭은 IUPAC 규약(International union of pure and applied chemistry, IUPAC) 및 대한화학회(<http://new.kcsnet.or.kr/>)에서 정한 규칙에 따라 사용하였다. CAS 번호가 공란인 경우 유기화합물의 명명법에 따라 묶어서 표현하여 CAS 번호를 적지 않았다.

방청유 고형시료 채취 방법은 20 ml 바이알에 원액 시료를 담아 테플론 마개로 밀봉 후 냉동 보관하여 운반 하였다. 원액 분석은 turbo matrix headspace sampler가 장착된 가스크로마토그래피 질량분석기(GC-MS, Clarus 600, Perkin elmer, USA)를 이용하여 실시되었다. 본 연구에서는 방청유의 성분 중 취급 근로자들이 노출 가능한 성분을 확인하기 위해 작업 환경과 유사한 온도조건에서 분석하고자 headspace sampler의 온도조건을 40℃로 하여 휘발된 성분만 확인 하였다. 분석에 사용된 컬럼은 Elite-5MS(60 m × 0.32 mm × 1.0 μm)였고, 컬럼을 흐르는 운반기체 유량은 1.5 ml/min, 초기 온도 50℃(2분)부터 100℃까지

2℃/min으로 승온 시킨 후 200℃까지 10℃/min으로 승온시키는 조건으로 분석하였다. MS는 quadrupole 형태의 검출기를 200℃ 조건에서 분석하였다.

방청유 원액 분석 결과와 MSDS에 제시된 구성 성분을 고용노동부의 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(MoEL, 2013)과 비교하여 각 성분들의 노출기준과 발암성(carcinogenicity), 생식세포변이원성(mutagenicity), 생식독성(reproductive toxicity)을 확인하였다.

3. 공기 중 VOCs에 대한 개인노출 평가

2013년 8월부터 9월까지 22개 사업장 근로자 54명을 대상으로 방청유 취급 근로자의 VOCs에 대한 공기 중 노출 평가를 실시하였다. 시료 채취 할 때 사용된 방청 제품, 작업방법, 근로자의 개인보호구 착용상태, 그리고 환기상태를 조사하였다. 국소배기장치가 설치되어 있는 경우 후드 종류와 설치 방향을 확인하였고, 기류측정기(air velocity meter, TSI, USA)를 이용하여 후드의 제어풍속을 측정하였다. 제어 풍속을 측정하는 방법은 고용노동부고시(2013)에 따라 포위식 포위형 후드는 후드 개구면에서 제어풍속을 측정하였고, 외부식 후드는 취급하는 물질의 증기를 흡인하는 범위 내에서 당해 후드의 개구면으로부터 가장 먼 거리의 작업위치에서 제어풍속을 측정하였다. 고용노동부에서 권고된 기준과 비교하여 적합여부를 판단하였다.

시료채취는 수동식 시료채취기(OVM 3520, 3M, Canada)를 방청유 취급 근로자의 호흡영역(breathing zone)에 부착하여 근무시간(6~8시간/1일)동안 평균 농도를 평가 할 수 있도록 실시되었다. 채취한 시료는 아이스박스에 담아 분석 때까지 냉동 보관하였다. 채취 시료 분석은 시료채취기 제조사(3M사)의 분석지침(3M, 1999)에 준하여 분석하였다. 각 시료채취기의 앞층(primary section)과 뒷층(secondary section)을 분리하여 이황화탄소(CS₂) 1.5 ml를 주입하여 조심스럽게 흔들어서 30분 이상 탈착하였다. 추출된 유기화합물은 GC/MS(Clarus 600, Perkin elmer, USA)를 이용하여 1차적으로 검출 성분을 확인 후 각 물질의 건강유해성을 고려하여 10가지 물질을 선정하였고 가스크로마토그래피 불꽃 이온화 검출기(gas chromatography-flame ionization detector, GC-FID, YL6100, Younglin, Korea)를 이용하여 정량분석 하였다. 분석에 사용된 컬럼은 INNOWAX(60 m × 0.32 mm × 0.25 μm)를 사용하였고,

컬럼 내 운반기체(N₂) 유량은 3.0 ml/min, 컬럼의 온도 조건은 초기 50℃에 5분간 유지한 후 10℃/min으로 10 0℃, 20℃/min으로 180℃까지 승온시키며 분석하였다. 주입구와 검출기의 온도는 각각 250℃로 설정하여 분석 하였다.

4. 자료분석

개인노출평가 시료에서 검출빈도가 가장 높은 물질을 대상으로 방청유 취급 근로자의 취급 방청 종류(수용성, 방청유허유, 용제 희석형 방청유), 사용 방법(분무법, 담금법, 붓칠법) 및 국소배기장치 설치 상태(설치, 미설치)에 따른 농도 차이의 유의성을 5% 유의수준에서 분산분석(ANOVA) 혹은 t-test를 실시 하였다.

모든 통계분석은 Microsoft Office Excel 2007, SPSS for Windows Release 18.0(SPSS Inc.)을 이용하여 수행하였다.

III. 연구결과

1. 방청유 취급 사업장 특성

본 연구에서 최종 선정된 방청유 취급 사업장의 기본 특성은 Table 1에 요약하였다. 총 22개 사업장 중 대구 지역에 소재한 사업장이 18개였고, 경북지역 이 4개였으며, 평균 고용규모는 75명이었다.

업종별로는 일반 목적용 기계 제조업(manufacture of general purpose machinery)이 15개로 가장 많았고, 다음 으로 특수 목적용 기계 제조업(manufacture of special-purpose machinery)은 4개, 자동차부품제조업(manufacture of parts and accessories for motor vehicles and engines)이 2개, 그 외 구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (manufacture of structural metal products, tanks, reservoirs and steam generators)이 1개였다. 대부분 일반 목적용 기계 제조업에서 방청유를 취급하고, 조립, 검사 및 포장 공정에서 분무법과 붓칠법으로 사용되고 있었다.

Table 1. Basic characteristics of workplaces investigated in this study

Division	Content	N	%
Location	Daegu	18	81.8
	Gyeongsangbuk-do	4	18.2
Industrial classification	Manufacture of general purpose machinery	15	68.2
	Manufacture of special-purpose machinery	4	18.2
	Manufacture of parts and accessories for motor vehicles and engines	2	9.1
	Manufacture of structural metal products, tanks, reservoirs and steam generators	1	4.5
Products type	Soluble	1	4.5
	Straight	21	95.5
Products subtype	Soluble	1	4.5
	Preventive lubricating oil	3	13.6
	Corrosion preventive oils solvent dilution	18	81.8
Handling methods with rust preventive oils*	Spraying	17	77.3
	Dipping	10	45.5
	Brushing	2	9.1
Local exhaustive ventilation	Installation	6	27.3
	Non-installation	16	72.7
Number of employee [†]		75±28 (34 - 150)	
Usage amount of rust preventive oil per month [†]		171.9±260.0 (1.1 - 1200)	
Total		22	100

* Multiple reply; [†] Mean±standard deviation(range)

조사대상 업체에서 취급되고 있는 방청유는 총 32개 제품이었고, 각 취급 제품의 제조일자를 확인한 결과 2011년 1개, 2012년 17개, 2013년 10개 제품이었고 제조일자가 없는 제품은 2개였다. 취급 방청유의 제조일자가 가장 오래된(2011년 6월) 제품은 사업장에 해당 상품이 가공되었을 때만 방청 작업을 하기 때문에 사용량이 소량이었어서 구매한 방청유를 현재까지 취급하고 있었다.

조사 대상 업체에서 취급하는 방청유 사용량은 월 1.1~1200 L이었고, 월 평균 171.9 L을 사용하고 있었다. 방청유 제품을 용도에 따라 분류한 결과, 비수용성 95.5%, 수용성 4.5%로 사용하고 있었다. 비수용성 제품으로 분류된 방청유는 방청 윤활유와 용제 희석형 방청유로 세분할 수 있고, 용제 희석형 방청유를 81.8%로 가장 많이 사용하였고, 다음으로 방청 윤활유가 13.6%로 취급 되었다. 방청유 취급 근로자가 작업을 할 때 방청유 사용 방법은 3가지로 분류되었는데, 이 중 분무법이 77.3%로 많이 사용되고

있었고, 다음으로 담금법 45.5%, 붓칠법 9.1%로 확인되었다.

2. 방청유 취급 현황

조사 대상 사업장 22곳의 방청유 취급 근로자 54명을 대상으로 사업장 내 방청유 취급 현황에 대해 면담 조사를 실시하였고, 방청유 취급 공정의 온도, 습도 및 환기설비의 제어속도 측정 결과를 Table 2에 정리하였다.

응답자의 성비는 남성이 70.4%, 여성이 29.6%이었다. 종사자들은 1일 평균 430.5±22.6분을 근무하였고, 방청 작업 공정의 온도는 29.6±2.9°C이었고, 상대 습도는 56.6±5.9%이었다.

방청유 취급 근로자가 작업하는 공정에 국소배기장치가 '있다' 27.3%, '없다' 72.7%로 미설치된 작업 공정이 많았다. 국소배기장치가 설치된 작업 공정은 6곳이었고, 화학물질 발생지점에서 제어풍속을 측정하였고, 그 결과는 기준치 이상이 1.9%, 기준치 미만이 9.3%로 측정되었다.

Table 2. Working conditions of workers handling rust preventive oils

Division	Content	N	%
Number of response		54	100
Gender	Male	38	70.4
	Female	16	29.6
Ventilation	Installation	6	27.3
	Non-installation	48	72.7
Capture velocity of local exhaustive ventilation	Above standard	1	1.9
	Below standard	5	9.3
	Supplied air respirator	0	0.0
Respiratory protective equipment	Dust respirator	6	11.1
	Cotton mask	21	38.9
	Not wearing	27	50.0
Hand Protective equipment	Chemical resistant gloves	2	3.7
	Cotton gloves	52	96.3
	Not wearing	0	0.0
Working Time(min)*		430.5±22.6 (380-480)	
Temperature(°C)*		29.6±2.9 (21.4-34.3)	
Relative humidity(%)*		56.6±5.9 (42.3-70.0)	
Total		54	100

* Mean±standard deviation(range)

방청유 취급 근로자에 대해 보호구 선정과 착용 상태를 조사한 결과 적정 호흡용 보호구인 송기마스크를 착용하는 경우는 없었고, 방진마스크를 11.1% 착용하고 있었다. 안전보호구가 아닌 면 마스크를 착용한 작업자는 38.9%이고, 미착용 작업자가 50%로 가장 높았다. 손 보호구인 유기용제용 보호 장갑을 3.7% 착용하고 있었고, 안전보호구가 아닌 면장갑을 착용한 작업자가 96.3%로 가장 높았다.

3. 방청유의 MSDS 분석

조사 대상 업체 22개에서 수집된 방청유 32종에 대한 MSDS에 제시되어 있는 성분들과 함유량에 대한 세부 결과는 Appendix 1에 제시하였다.

수용성 방청유 1종에서 검토된 MSDS 구성성분은 총 3개 물질이며, diethylene glycol, trolamine, 물(water)이었다. 비수용성 방청유 중 방청 윤활유 3종에서 검토된 MSDS 구성 성분은 총 11개 물질이었고, butane, distillate(petroleum) hydrotreated light, distillate(petroleum) solvent-dewaxed heavy paraffinic, isobutane, distillate (petroleum) hydrotreated heavy paraffinic, distillate(petroleum) hydrotreated light paraffinic, polybutene로 확인되었다. 이들 중 가장 빈번하게 확인된 물질들은 butane, distillate(p-petroleum) hydrotreated light, distillate(petroleum) solvent-dewaxed heavy paraffinic, isobutane으로 3개 중 2개 제품의 MSDS에서 확인되었다.

용제 희석형 방청유 28종에 대해 MSDS 구성성분을 검토한 결과 총 82개 성분이 확인되었고, distillates (petroleum) hydrotreated light, distillates(petroleum) solvent-dewaxed heavy paraffinic, sulfonic acids, petroleum, barium salts 등이 확인되었고, 그 중 stoddard solvent

의 함량이 100%로 가장 높았다. 28개 제품의 MSDS에서 distillates(petroleum) hydrotreated light가 71.4%로 중복되어 확인되었고, 다음으로 distillates(petroleum) solvent-dewaxed heavy paraffinic이 32.1%, sulfonic acids, petroleum, barium salts이 21.4%로 확인 되었다.

4. 방청유 원시료 정성 분석

방청유 원시료 30종을 방청 종류로 분류하여 정성 분석한 세부 결과는 Appendix 2에 제시하였다.

수용성 방청유 1종에서 원시료 분석 결과 21개 성분이 검출되었고, 그 중 alkyl cyclohexane의 상대면적비가 0.96%로 가장 높게 나타났다. 그 외 alkyl octanol, alkyl heptene, alkyl dodecane, alkyl decalin, alkyl cyclooctane 등이 검출되었다.

비수용성 방청유 중 윤활 방청유 3종에서 원시료 분석결과 16개 성분으로 검출되었고, 그 중 nonane의 상대면적비가 1.26%로 가장 높게 나타났다. 그 외 octane, decane, alkyl benzene(ethyl benzene 포함), alkyl nonane, p-xylene, o-xylene, heptane, toluene 등이 검출되었다.

비수용성 방청유 중 용제 희석형 방청유 28종에서 원시료 분석 결과 138개 성분이 검출되었고, 그 중 n-methylaurine의 상대면적비가 46.27%로 가장 높았고, 다음으로 alkyl heptane, alkyl pentane, alkyl hexane, alkyl cyclohexane 등이 검출되었다.

방청유 원시료를 정성 분석한 결과 toluene, o-xylene, p-xylene은 MSDS 구성성분과 동일하게 검출되었지만 그 외 검출된 성분들은 MSDS에는 표기되지 않은 물질들이었다.

검출된 성분들 중 발암성, 생식세포변이원성, 생식

Table 3. Carcinogenic, mutagenic and reprotoxic ingredients found in rust preventive oils

Ingredient	CAS number	Products subtype	Carcinogenic	Mutagenic	Reprotoxic
Butane	106-97-8	Corrosion preventive oils solvent dilution	1A	1B	
Butoxy ethanol	111-76-2	Corrosion preventive oils solvent dilution	2		
Cumene	98-82-8	Preventive lubricating oil	2		
		Corrosion preventive oils solvent dilution			
Ethly benzene	100-41-4	Corrosion preventive oils solvent dilution	2		
Methyl isobutyl ketone	108-10-1	Corrosion preventive oils solvent dilution	2		
n-Hexane	110-54-3	Corrosion preventive oils solvent dilution			2
Toluene	108-88-3	Preventive lubricating oil			2
		Corrosion preventive oils solvent dilution			

Table 4. Summary of concentrations of volatile organic compounds from 54 personal air samples (unit : mg/m³)

Substances	N (%) [*]	Arithmetic mean	Standard deviation	Geometric mean	Geometric standard deviation	Minium	Maximum	KOEL [†]	Ratio of maximum to KOEL, %
n-Hexane	54 (100.0)	6.46	2.14	6.14	1.37	2.85	13.13	180	7.29
n-Heptane	54 (100.0)	2.64	1.67	2.17	1.92	0.37	8.61	1600	0.54
Octane	54 (14.8)	0.44	0.14	0.42	1.37	0.24	0.68	1450	0.05
Nonane	54 (27.8)	0.63	0.50	0.48	2.02	0.20	1.91	1050	0.18
Toluene	54 (98.1)	2.21	1.47	1.81	1.89	0.7	8.62	188	4.59
Ethyl benzene	54 (1.9)	0.30	0.0	0.30	1.00	0.30	0.30	435	0.07
Xylene	54 (63.0)	0.44	0.43	0.34	1.84	0.18	2.26	435	0.52

^{*}Total number of samples (detection rate), [†]Korean occupational exposure limits

독성을 가지고 있는 물질을 정리하면 Table 3과 같이 7가지 물질로, butane은 발암성 1A, 생식세포 변이원성 1B였고, butoxy ethanol, cumene, ethyl benzene, methyl isobutyl ketone은 발암성 2, n-hexane과 toluene은 생식독성 2인 물질이었다.

5. VOCs의 개인 노출 평가 결과

방청유 취급 근로자 54명을 대상으로 공기 중 VOCs의 개인노출량을 평가한 결과를 Table 4에 요약하였다. 총 54개의 개인시료에서 모두 검출된 물질은 n-hexane과 n-heptane이었고, 최대 농도가 각각 13.13 mg/m³, 8.61 mg/m³로 n-hexane은 노출기준(180 mg/m³)에 대비하여 7.29%, n-heptane은 노출기준(1600 mg/m³)에 대비하여 0.54% 수준이었다. 다음으로 검출빈도가 높은 물질은 toluene(98.1%)과 xylene(63%)이었고, 공기 중 노출 수준은 각각 최대 8.62 mg/m³와 2.26 mg/m³로 노출 기준치에 대비하여 4.59%와 0.52% 수준으로 나타났다.

IV. 고 찰

방청유는 금속 제품의 대기 중 부식을 방지하는 목적으로 사용되며, 금속가공 및 금속제품 제조업에서 많이 사용된다. 본 연구에서 조사한 대구, 경북지역 22개 사업장의 업종별 현황에서도 일반 목적용 혹은 특수 목적용 기계 제조업이 19개소로 가장 많은 분포를 나타내었고, 나머지 2개 사업장은 자동차 부품 제조업이었다.

조사된 22개 사업장으로부터 32개의 방청유 제품을 수집하여 조사한 결과 95.5%가 비수용성 제품이었고, 세부적으로 분류한 결과 용제 희석형 방청유가

81.8%로 가장 많이 사용하는 것으로 조사되었다. 용제 희석형 방청유는 석유계 기제(base oil)를 기본 성분으로 하고 있기 때문에 취급시 다양한 VOCs에 대한 공기 중 노출 가능성이 높을 것으로 예측하였다. 총 32개 제품에 대한 MSDS의 성분 수를 분석한 결과 용제 희석형 방청유 28종에서 가장 많은 총 82개 물질이 확인되었고 VOCs 발생이 가능한 Distillates(petroleum), hydrotreated light 물질이 28개 제품 중 17개 제품에서 최대 함유량 90%로 확인되었다. 또한 30종의 방청유를 대상으로 GC-MS와 headspace를 이용하여 정성 분석을 실시한 결과 용제 희석형 방청유 28종에서 138개의 VOCs 성분들을 확인할 수 있었다. MSDS에 제시된 성분 수보다 많은 성분들이 확인되었는데, 이는 MSDS에 기재된 성분들 중 Distillates (petroleum), hydrotreated light나, stoddard solvent 등은 그 자체가 혼합물이며, 정성분석에서는 40℃의 온도 조건에서 휘발된 성분들을 분석하였기 때문에 휘발 가능한 개별 성분들이 더 많이 검출되었다고 판단된다.

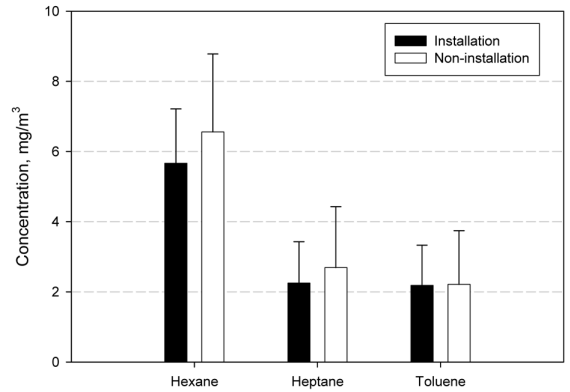
방청유 취급자 54명을 대상으로 공기 중 VOCs 노출 평가를 실시한 결과 방청유 원액의 정성 분석 결과 검출된 물질들 중 8종만 검출되었다. 모든 개인시료에서 검출된 물질은 n-hexane과 n-heptane이었다. 방청유 중 대부분을 차지한 용제 희석형 방청유에 대한 정성분석 결과에서 GC-MS의 크로마토그램의 상대면적비로 가장 많은 비율로 나타난 단일 휘발성 탄화수소류 물질은 nonane(14.91%), n-heptane(13.94%), n-hexane(10.37%) 순이었다. 그러나 세 가지 물질 중 n-hexane이 분자량이 가장 작고, 증기압이 20℃에서 17.6 kPa로 n-heptane(5.33 kPa)과 nonane(0.59 kPa)보

다 높기 때문에 n-hexane의 검출빈도와 최대 검출 농도가 가장 높게 나타났다고 판단된다. 또한 정성분석 때의 headspace 온도 조건은 40°C로 개인노출 평가시 사업장의 온도 조건(21.4°C-34.3°C)보다 높은 조건이었고, 확산형 수동식 시료채취기로 채취한 개인노출 평가 방법과 달리 headspace sampling 방식이었기 때문에 개인노출 평가때 검출된 물질들 보다는 많은 VOCs 들이 검출될 수 있었던 것으로 판단되었다.

개인노출평가 시료에서 검출된 VOCs 농도에 대해 방청유 취급 근로자의 취급 방청 종류(수용성, 방청 윤활유, 용제 희석형 방청유)와 사용 방법(분무법, 담금법, 붓칠법)에 따른 농도 차이를 통계적으로 검정한 결과 Table 5와 Table 6과 같이 모두 유의한 차이를 나타내지 않았다(P>0.05).

국소배기장치 설치 상태(설치, 미설치)에 따라 n-hexane, n-heptane 및 53개의 시료에서 검출된 toluene에 대해 농도 차이에 대한 t-test 결과 Figure 1과 같이 n-hexane(설치: 5.67 mg/m³, 미설치: 6.56 mg/m³), n-heptane(설치: 2.25 mg/m³, 미설치: 2.69 mg/m³), toluene(설치: 2.19

mg/m³, 미설치: 2.21 mg/m³)로 국소배기장치가 설치된 경우 각각의 평균 농도가 더 낮았으나 통계적으로 유의하지는 않았다(P>0.05). 이는 국소배기장치가 설치된 사업장이 6곳에 불과하였기 때문에 상대적 시료수



* P-value > 0.05

Figure 1. Comparison of airborne hexane, heptane and toluene concentrations by installation of local exhaustive ventilation systems.

Table 5. Comparison of VOCs concentrations by rust preventive oil subtypes

(unit : mg/m³)

Product subtype	Variables	n-Hexane	Heptane	Octane	Nonane	Decane	Toluene	Ethyl benzene	Xylene
Soluble	N	4	4				4		3
	Mean	5.39	1.88				1.57		0.25
	Standard deviation	0.98	0.92				0.91		0.04
	Geometric mean	5.32	1.72				1.35		0.25
	Geometric standard deviation	1.19	1.61				1.92		1.19
	Range	4.49-6.71	1.13-3.11				0.65-2.52		0.20-0.29
Preventive lubricating oil	N	4	4		2	2	4		2
	Mean	6.19	2.45		0.40	3.76	2.01		0.37
	Standard deviation	1.37	0.89		0.05	0.44	0.91		0.21
	Geometric mean	6.07	2.32		0.40	3.75	1.81		0.34
	Geometric standard deviation	1.27	1.47		1.13	1.12	1.77		1.85
	Range	4.39-7.40	1.47-3.34		0.37-0.44	3.45-4.07	0.80-2.94		0.22-0.52
Corrosion preventive oils solvent dilution	N	46	46	8	13	25	45	1	29
	Mean	6.58	2.73	0.44	0.66	11.68	2.28	0.30	0.46
	Standard deviation	2.28	1.78	0.15	0.56	22.95	1.56		0.46
	Geometric mean	6.22	2.20	0.42	0.49	3.96	1.86	0.30	0.35
	Geometric standard deviation	1.40	2.00	1.40	2.19	4.03	1.93		1.92
	Range	2.85-13.13	0.37-8.61	0.24-0.68	0.20-1.91	0.84-111.17	0.37-8.62	0.30	0.18-2.26
ANOVA	P-value	0.56	0.62		0.53	0.64	0.64		0.72

Table 6. Comparison of VOCs concentrations by handling methods of rust preventive oils (unit : mg/m³)

Handling method	Variables	n-Hexane	Heptane	Octane	Nonane	Decane	Toluene	Ethyl benzene	Xylene
Spraying	N	31	31	2	9	15	31		17
	Mean	6.20	2.42	0.49	0.54	14.21	1.98		0.33
	Standard deviation	1.79	1.31	0.16	0.55	28.36	1.23		0.28
	Geometric mean	5.96	2.05	0.48	0.40	4.21	1.63		0.28
	Geometric standard deviation	1.33	1.86	1.38	2.12	4.60	1.91		1.60
	Range	3.24-10.27	0.37-5.12	0.38-0.60	0.20-1.91	0.89-111.17	0.37-4.78		0.18-1.37
Dipping	N	21	21	6	6	11	20		15
	Mean	6.89	3.03	0.42	0.76	7.50	2.59		0.57
	Standard deviation	2.63	2.11	0.16	0.49	10.74	1.79		0.56
	Geometric mean	6.46	2.45	0.40	0.64	3.62	2.18		0.42
	Geometric standard deviation	1.44	1.98	1.43	1.90	3.25	1.80		2.10
	Range	2.85-13.13	0.50-8.61	0.24-0.68	0.29-1.51	0.84-32.41	0.65-0.82		0.20-2.26
Brushing	N	2	2			1	2	1	2
	Mean	5.97	2.14			3.74	1.98	0.30	0.28
	Standard deviation	2.58	2.05				1.88		0.07
	Geometric mean	5.69	1.58			3.74	1.47	0.30	0.28
	Geometric standard deviation	1.56	3.19				3.15		1.30
	Range	4.14-7.80	0.69-3.59			3.74	0.65-3.30	3.30	0.23-0.33
ANOVA	P-value	0.51	0.40	0.89	0.75	0.72	0.35		0.25

가 적어 통계적 유의성이 나타나지 않았다고 판단된다.

본 연구에서 실시한 공기중 VOCs 측정 결과와 비교하기 위해 선행 연구에 대해 조사한 결과, 현재까지 국내외에서 방청유 취급 근로자를 대상으로 VOCs에 대한 공기 중 노출평가를 수행한 연구자료는 찾을 수 없었다. 방청유 및 방청유와 유사한 성분으로 구성된 광물유나 석유계 제품에 대한 건강영향 관련 문헌보고는 피부암(Leitch, 1924; Emmet, 1975)이나 피부염(Steinbruck, 1929; Schwarz et al., 1957; Tagami & Ogino, 1973; Jee et al., 1985)에 대한 것이었고 1990년대 이전 보고들이었다. 2000년대에 보고된 문헌도 윤활유나 공업용 그리스(grease) 취급 작업자에 대한 접촉성 알러지에 대한 발생 위험에 대한 사례 보고였다(Aalto-Korte et al., 2008; Aalto-Korte & Suuronen, 2009).

개인노출 평가 결과 가장 높은 농도를 나타낸 n-hexane의 경우에도 최대값이 고용노동부 노출기준의 7.3% 수준으로 모든 물질이 노출기준의 10% 미만 수준으로 검출되었으나, 정성분석 결과 발암성, 생식

세포변이원성, 생식독성을 가지고 있는 물질 7가지를 확인할 수 있었고(Table 3), 생식독성 2로 분류되는 n-hexane은 측정된 모든 공기 중 시료에서 최대 노출기준의 7.3% 수준으로 검출되었기에 흡입 노출에 대한 각별한 관리가 필요하다고 판단되었다. 조사된 22개 사업장 중 국소배기장치가 설치된 공정은 6곳에 불과했고(Table 1), 방청유 취급 근로자들 중 VOCs의 흡입노출을 예방해 줄 방독마스크 착용자는 한명도 없는 것으로 조사되어 VOCs의 흡입 노출 관리상태가 좋지 않았다(Table 2). 방진마스크 착용자도 11.1%에 불과하였고, 마스크 미착용 작업자가 50%, 공인된 호흡보호구가 아닌 면 마스크를 착용한 작업자가 38.9%였다. 또한 근로자 대부분 장갑을 착용하고 있었으나, 유기용제용 보호 장갑은 3.7%만 착용하고 있었고, 안전보호구가 아닌 면장갑을 착용한 작업자가 96.3%로 조사되어 피부 노출에 대한 관리상태도 불량한 것으로 확인되었다. 본 조사 대상 사업장들 모두 150인 이하의 중소규모 사업장인 점을 고려하여 향후 방청유 취급

중소규모 사업장에 대해 방청유 취급 근로자들이 생식독성 물질인 n-hexane에 공기중 노출 가능성을 알리고 적절한 환기설비와 호흡보호구를 고려한 흡입 노출 저감 대책의 필요성을 주지시켜야 하겠다.

V. 결 론

본 연구는 대구 경북지역에 소재한 방청유 취급 사업장 22곳을 대상으로 30종의 방청유 원액의 MSDS와 성분분석 결과를 통해 함유 물질을 확인하였고, 54명의 근로자를 대상으로 방청유 중 함유된 VOCs에 대한 개인 노출 수준을 평가하였다.

방청유 취급 중 노출 가능한 휘발성 물질은 30종의 방청유 원액을 정성분석한 결과 수용성 제품 1종에서는 21개 물질, 방청 윤활유 3개 제품에서는 11개 물질, 그리고 용제 희석형 방청유 28개 제품에서는 총 82개로 가장 많은 물질이 확인되었다. 특히 발암성 물질 5종(butane, butoxy ethanol, cumene, ethyl benzene, methyl isobutyl ketone), 생식세포변이원성 물질 1종(butane), 그리고 생식독성 물질 2종(n-hexane, toluene)이 방청유 취급 중 휘발되어 노출 가능한 것으로 확인되었다.

방청유 취급 근로자 54명에 대해 노출 가능한 휘발성 유기물질에 대한 개인노출수준 평가 결과 모든 시료에서 n-hexane과 n-heptane이 검출되었고 각각의 최대 노출농도는 노출기준 대비 각각 7.3%와 0.54%로 노출기준의 10% 미만 수준이었다. 그러나 생식독성 2등급 물질인 n-hexane에 낮은 농도이지만 측정된 모든 시료에서 검출됨으로써 방청유 취급 작업 중 흡입 노출 가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 조사 대상 사업장 22곳 중 6곳만 국소배기장치가 설치되어 있었고, 54명에 대해 마스크 착용상태를 조사한 결과 방독마스크 착용자는 한명도 없었고 착용하고 있는 장갑도 면 장갑 착용자가 96.3%로 조사되어 방청유 취급중 VOCs에 대한 흡입노출 및 피부 접촉을 통한 노출관리의 개선이 필요하였다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초 연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF-2010-0025456).

References

- 3M. Measurement and Analysis Guide. 3M Korean. 1999
- Aalto-Korte K, Suuronen K, Kuuliala O, Jolanki R. Contact allergy to 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazole and phenylal-pha-naphtylamine, allergens in industrial greases and lu-bricant oils--contact allergy to water-insoluble greases isuncommon but needs to be considered in some workers. *Contact Dermatitis* 2008;58:93-96
- Aalto-Korte K, Suuronen K. Contact allergy to polyolefinester in a lubricant grease. *Contact Dermatitis* 2009;60:63
- BIT Research center. Rust-proofing working level. Buhmwoo Institute of Technology Research. 1991
- Emmet EA. Occupational skin cancer: a review. *J Occup Med* 1975;17:44-49
- Im JC. Demand and prospect of lubricant oils 2014. Korea Lubricating Oil industries Association, 2013
- Jee SH, Wang JD, Sun CC, Chao YF. Prevalence of probable kerosene dermatoses among ball-bearing factory workers. *Scand J Work Environ Health* 1985;12:61-65
- Jin Y, Lee JY, Kim E, Park SH, Chai C et al. Contact dermatitis among male workers exposed to metalworking fluids. *Korean J Prev Med* 1997;30(2):381-391
- KATS(Korean Agency for Technology and Standards). Technical standards ledger. rust preventive · method terminology. 2011
- Kim YS, Joo HJ, Cha BH. Development of preparation technology for biodegradable rust preventive and research for biodegradable analysis. *Journal of Korean Society of Environmental Administration* 2003;9(2): 277-284
- Korea National Statistical Office(KOSTAT). The Korean Standard Industrial Classification(KSIC) 9th edition. 2009[cited 2017 March 20]. Available from:URL: https://kssc.kostat.go.kr:8443/ksscNew_web/link
- Kwon YG. Choice and management of rust preventive oil. *Oil and lubrication*, 1999. p. 48-52
- Leitch, A. Note on chimney sweeps' cancer. *Br Med J* 1924;2:943-944
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents(MoEL Public Notice No. 2013-38).; 2013
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Velocity control of local exhaust of Hazardous Substances Requiring Management. *occupation safety and health acts Industrial Health and Safety regulations*. 429. MOEL; 2013
- Schwarz L, Julipan L, Birmingham DJ. Occupational diseases of skin. third edition. lea and febiger,

Philadelphia, PA. 1957
 Steinbruck, D. Artificial induction of cancer using printer's ink. *Berliner Tierärztliche Wochenschrift* 1929;45: 525-527 (in German)
 Tagami H, Ogino A. Kerosine dermatitis: factors affecting skin irritability to kerosine. *Dematologica* 146,1973.p.

123-131
 Twort CC, Twort JM. The relative potency of carcinogenic tars and oils. *J hyg(Lond)*. 1930;29(4): 373-379
 WHO(World Health Organization). Environmental health criteria 107. Barium. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1990

Appendix 1. Ingredient and content of rust preventive oil reported in material safety data sheet

Products type	Products subtype	N*	Ingredient	CAS number	Maximum content (%)	Duplication rate (%)		
Soluble	Soluble	1	Diethylene glycol	111-46-6	20	100		
			Trolamine	102-71-6	20	100		
			Water	7732-18-5	60	100		
Straight	Preventive lubricating oil	3	Butane	106-97-8	32	66.7		
			Distillate(petroleum), hydrotreated light	64742-47-8	40	66.7		
			Distillate(petroleum), solvent-dewaxed heavy paraffinic	64742-55-8	80	66.7		
			Isobutane	75-28-5	12	66.7		
			Distillate(petroleum), hydrotreated heavy paraffinic	64742-54-7	20	33.3		
			Distillate(petroleum), hydrotreated light paraffinic	64742-55-8	80	33.3		
			Polybutene	9003-29-6	5	33.3		
			Corrosion preventive oils solvent dilution	28	Distillates(petroleum), hydrotreated light	64742-47-8	90	60.7
					Distillates(petroleum), solvent-dewaxed heavy paraffinic	64742-65-0	40	32.1
					Sulfonic acids, petroleum, barium salts	61790-48-5	25	21.4
	Distillates(Petroleum), hydrotreated heavy paraffinic	64742-54-7			20	17.9		
	Sorbitan monooleate	1338-43-8			11	17.9		
	Paraffin waxes and hydrocarbon waxes, oxidized	68153-22-0			10	14.3		
	Distillate(petroleum), hydrotreated heavy naphthenic	64742-52-5			20	10.7		
	Distillate(petroleum), hydrotreated light naphthenic	64742-55-8			85	10.7		
	Fatty acids, C18-unsatd, dimers	61788-89-4			5	10.7		
	Petrolatum(petroleum), oxidized, calcium salt	68425-34-3			70	10.7		
	Straight	Corrosion preventive oils solvent dilution	28	Stoddard solvent	8052-41-3	100	10.7	
				Sulfonic acids, petroleum, calcium salts	61790-37-2	20	10.7	
				Naphthalenesulfonic acid, dinonyl-, barium salt(2:1)	25619-56-1	10	7.1	
Butylated hydroxytoluene				128-37-0	6	3.6		
De-oiled lanolin				68201-49-0	10	3.6		
Diethylene glycol mono-n-butyl ether				112-34-5	N.A [†]	3.6		
Distillates(petroleum), hydrotreated light naphthenic				64742-53-6	N.A [†]	3.6		
Fatty acids, C16-18, 2-ethylhexyl esters				91031-48-0	5	3.6		
Isopropyl oleate				112-11-8	10	3.6		
Lecithin				8002-43-5	N.A [†]	3.6		
Straight	Corrosion preventive oils solvent dilution	28	Ligroine	8032-32-4	55	3.6		
			Mineral oils	8020-83-5	N.A [†]	3.6		
			Naphtha(petroleum), hydrodesulfurized light	64742-73-0	25	3.6		
			Naphtha(petroleum), hydrotreated heavy	64742-48-9	50	3.6		
			Naphthalenesulfonic acid, dinonyl-, calcium(2:1)	57855-77-3	10	3.6		
			Petrolatum(petroleum), oxidized	64743-01-7	N.A [†]	3.6		
			Petrolatum	8009-03-8	10	3.6		
			Sulfonic acids, petroleum, sodium salts	68608-26-4	16	3.6		
			Toluene	108-88-3	35	3.6		
			Xylene	1330-20-7	35	3.6		

* Number of product; † Not available

Appendix 2. Qualitative analysis of the bulk sample of rust preventive oil

Products type	Products subtype	Number of products	Ingredient	CAS number	Maximum content (%)	Reported in MSDS
Soluble	Soluble	1	Alkyl cyclohexane		0.96	
			Decahydro alkyl naphthalene	2958-76-1	0.70	
			Alkyl octanol		0.56	
			Bromo n butyl piperidinone	195194-80-0	0.46	
			Octadecyne	629-89-0	0.41	
			Levomenthol	2216-51-5	0.35	
			Undecane	1120-21-4	0.32	
			Cyclohexane alky propanoate	2890-67-7	0.31	
			Alkyl heptene		0.26	
			Epoxyoctadecanol	13980-12-6	0.24	
			Alkyl decahydro naphthalene	2958-75-0	0.23	
			Decahydro naphthalene		0.22	
			Tricosene	52078-56-5	0.22	
			Alkyl cyclopentane		0.20	
			Alkyl dodecane		0.19	
			Alkyl decalin		0.15	
			Eicosadiene	14811-95-1	0.14	
			Alkyl cyclooctane		0.13	
			Alkyl cycloheptane		0.10	
			Alkyl hexenol	900139-52-3	0.09	
Cyclododecanemethanol	1892-12-2	0.08				
Straight	Preventive lubricating oil	3	Nonane	111-84-2	1.26	
			Alkyl cyclohexane		1.02	
			Alkyl octane		1.01	
			Octane	111-65-9	0.86	
			Alkyl heptane		0.74	
			Decane	124-18-5	0.71	
			Alkyl benzene	98-82-8	0.49	
			Alkyl nonane		0.42	
			p-Xylene	106-42-3	0.32	
			Undecane	1120-21-4	0.24	
			Alkyl decane		0.20	
			o-Xylene	95-47-6	0.19	
			Heptane	142-82-5	0.11	
			Toluene	108-88-3	0.11	
			Alkyl decene		0.09	
			Alpha alkyl cyclohexane		0.08	
			Straight	Corrosion preventive oils solvent dilution	28	n-Methyltaurine
Alkyl heptane		44.23				
Alkyl pentane		41.66				
Alkyl hexane		28.08				
Alkyl cyclohexane		20.00				
Alkyl cyclopentane		17.10				
Nonane	111-84-2	14.91				
Heptane	142-82-5	13.94				
Alkyl butane		12.97				
n-Hexane	110-54-3	10.37				
Alkyl cyclopropane		9.15				

Appendix 2. Qualitative analysis of the bulk sample of rust preventive oil (continued)

Products type	Products subtype	Number of products	Ingredient	CAS number	Maximum content (%)	Reported in MSDS
Straight	Corrosion preventive oils solvent dilution	28	Pentane	109-66-0	6.42	
			Cyclohexanol	108-93-0	6.26	
			Alpha alkyl cyclohexane		6.24	
			Chloro hexane	638-28-8	6.22	
			Alkyl octane		6.18	
			Octane	111-65-9	6.03	
			Decane	124-18-5	5.92	
			Alkyl benzene	98-82-8	2.98	
				100-41-4	0.14	
			Toluene	108-88-3	4.14	○
			Alkyl oxirane		3.86	
			Alkyl undecane		3.34	
			Alkyl nonane		2.67	
			Butoxy ethanol	111-76-2	2.66	
			Alkyl decane		2.63	
			Alpha alkyl cyclopentane		2.18	
			Hexenal	6728-26-3	2.09	
			p-Xylene	106-42-3	1.99	○
			Alkyl cyclobutane		1.93	
			o-Xylene	95-47-6	1.90	○
			Alkyl cycloheptane		1.81	
			Alkyl cyclooctane		1.71	
			Trifluoroacetoxy ethyldecane	116436-59-0	1.61	
			Octadecyne	629-89-0	1.54	
			Alkyl octene		1.51	
			Alkyl pentanol		1.47	
			Alkyl undecanol	10522-26-6	1.43	
			Alkyl butanol	97-95-0	1.25	
Alkyl undecene		1.21				
Alkyl ether		1.19				
Alkyl dodecanol	6750-34-1	1.11				
Alkyl cyclohexadiene	134820-82-9	1.10				
Butane	106-97-8	1.03				
Cycloalkyl ester oxalic acid		0.97				
Alkyl tetradecanol	900131-71-0	0.85				
Methyl isobutyl ketone	108-10-1	0.81				
Cycloalkyl undecane	13151-77-4	0.80				
Alkyl decanol	2425-77-6	0.78				
Alkyl octanol		0.78				
Cycloalkyl decane	13151-73-0	0.78				
Alkyl decene		0.77				
Alkyl decalin		0.74				
Acetyl thiazolidinecarboxylic acid	126990-62-3	0.73				
Alkyl dodecane		0.68				
m-Menthane		0.66				
Cycloalkyl octane	2883-05-8	0.65				
Alkyl ester oxalic acid		0.62				
Alkyl hexene		0.60				

Appendix 2. Qualitative analysis of the bulk sample of rust preventive oil (continued)

Products type	Products subtype	Number of products	Ingredient	CAS number	Maximum content (%)	Reported in MSDS
Straight	Corrosion preventive oils solvent dilution	28	Alkyl heptanol		0.58	
			Cyclooctanemethanol	3637-63-6	0.58	
			Alkyl pentene		0.57	
			Epoxyoctadecanol	13980-12-6	0.55	
			Mesitylene	108-67-8	0.55	
			Trichlorodocosyl silane	7325-84-0	0.54	
			Hexadecyne	629-74-3	0.54	
			Undecane		0.53	
			Cycloalkylhexadec sulfurous acid	900309-22-4	0.52	
			Alkyl octadecene	35354-39-3	0.51	
			Decahydro naphthalene		0.51	
			Alkyl nonadecene	219750-68-2	0.49	
			Cyclohexane	110-82-7	0.49	
			Alkyl heptene		0.49	
			Cycloalkyleicosane	4443-61-2	0.48	
			Decahydro alkyl naphthalene	2958-76-1	0.48	
			Alkyl heptadecane	54105-67-8	0.47	
			Alkyl hexanol		0.44	
			Alkyl ester dodecanoic acid	900159-97-0	0.42	
			Tridecenol	74962-98-4	0.42	
			Cycloheptane methanol	4448-75-3	0.41	
			Eicosyne	765-27-5	0.37	
			Alkyl ester acetic acid	123-86-4	0.34	
			Decene	20063-97-2	0.34	
			Alkyl ester butanoic acid	54714-35-1	0.32	
			Bromo heptane	1974-04-5	0.29	
			Alkyl octadienediol	103619-06-3	0.29	
			Alkylindene	19744-64-0	0.29	
Alkyl butyrate	141-16-2	0.28				
Tridecane	629-50-5	0.27				
Phytol		0.27				
Alkyl nonene	54410-98-9	0.27				
Alkyl ester sulfurous acid	900309-19-1	0.26				
Alkyl ester oxooctadecanoic acid	2380-18-9	0.26				
Trifluoroacetatecycloheptanol	900376-25-8	0.22				
Alkyl decahydro naphthalene	2958-75-0	0.22				
Alkyl ester malonic acid	900348-95-8	0.22				
Cyclododecanemethanol	1892-12-2	0.19				
Alkyl cyanamide	2050-54-6	0.19				
Hexatriacontane	630-06-8	0.19				
Methylene tridecane	19780-80-4	0.19				
Alkyl cyclopentenol	21834-98-0	0.18				
Cycloalkyl imidazole	93383-50-7	0.18				
Cycloalkyl cyclooctane	92369-78-3	0.17				
Bromo n butyl piperidinone	195194-80-0	0.17				
Isobutane	75-28-5	0.17				
Cyclohexadecane	295-65-8	0.16				
Decenol	18409-18-2	0.16				

Appendix 2. Qualitative analysis of the bulk sample of rust preventive oil (continued)

Products type	Products subtype	Number of products	Ingredient	CAS number	Maximum content (%)	Reported in MSDS
Straight	Corrosion preventive oils solvent dilution	28	Chloro undecene	872-17-3	0.15	
			Alkyl eicosane	6418-46-8	0.15	
			Nonanol	143-08-8	0.15	
			Benzyl isopropenyl ether	32783-20-3	0.14	
			Tetrahydrocarvone	499-70-7	0.14	
			Heptene	142-82-5	0.13	
			Cyclotridecane	295-02-3	0.13	
			Alkyl nonyl cyclopropane	41977-39-3	0.12	
			Alkyl cyclohexanedione	18456-87-6	0.12	
			Tetradecyne	765-10-6	0.12	
			Tert buty cycloheptanol	19790-14-8	0.12	
			Alkyl octadecane	930-02-9	0.12	
			Cycloalkyl propane	3638-35-5	0.12	
			Alkyl trifluoroacetoxy cyclohexane		0.10	
			Allyl nonyl ester oxalic acid	900309-23-7	0.10	
			Tetradecenol	900130-83-7	0.10	
			Cyclohexane propanol	1124-63-6	0.09	
			p-Menthatriene	18368-95-1	0.09	
			Oxybis hexane	112-58-3	0.09	
			Pentatriacontene	6971-40-0	0.09	
			Trimspirodecadienone	81532-19-6	0.09	
			Dodecyne	765-03-7	0.09	
			Bicyclo decane	16189-46-1	0.08	
			Dodecenol	69064-37-5	0.08	
			Alkyl cyclodecan	645-10-3	0.07	
			Pentenol	625-31-0	0.07	
			Chloro hexadecane	4860-03-1	0.07	
			Octadecene	7206-19-1	0.07	
Eoctadecadecenol	900131-10-2	0.07				
Octahydro pentalene	1755-05-1	0.07				
Cycloalkyl dodecane	7225-68-5	0.05				
Alkyl tridecane	6418-41-3	0.05				