

2007년 태안 원유유출사고 주변지역의 지정악취성분들에 대한 예비조사

김기현[†] · 이기한 · 안지원 · 박신영 · 임운혁¹

세종대학교 지구환경과학과, ¹한국해양연구원 남해연구소

A Preliminary Study of Offensive Odorants in Air after a Large-Scale Oil Spill Accident Off the Tae-Ahn Peninsula, Korea 2007

K.-H. Kim[†], K.-H. Lee, J.-W. Ahn, S.-Y. Park, and U.-H. Yim¹

Dept. of Earth & Environmental Sciences, Sejong University, ¹South Sea Institute, KORDI

In this study, the distribution of offensive odorants in ambient air was measured from four offshore sites near the site of the Hebei Spirit oil spill accident that took place on Dec. 2007. In order to investigate the air quality change due to oil spill accident, the concentrations of major odorants were measured during two field campaigns held at 100 hrs and one month after the accident (after an extensive clean-up process). The results of our analysis confirmed that the concentration levels of most individual odorants analyzed in this study were not high enough to contribute to the strong malodor that persisted in the study area, at least during the initial field campaign. However, the dilution to threshold (D/T) ratios determined from the identical samples confirmed that the odorant pollution was significant in the early phase of the oil spill accident. The overall results of our study suggest that the identification and improvement of measurement techniques for the odorants that are directly released due to the oil spill accident is of prior task to diagnose its environmental significance.

Key words: malodor compounds, ambient air, odor intensity, correlation analysis, threshold

1. 서 론

원유의 이송과정에서 침몰, 충돌, 좌초 등에 따른 유출 사고가 지구의 곳곳에서 잇따라 발생하고 있다. 유출된 원유의 잔존상황은 후속적으로 해양환경과 주변 생태계에 심각한 영향을 끼친다.¹⁻³⁾ 정제하지 않은 원유는 각종 유해 탄화수소 화합물 외에도 유해성이 강한 수은, 바나듐, 크롬, 니켈 등의 중금속 성분들을 고농도로 함유한다. 따라서 원유의 유출은 1차적으로 해양환경에 대한 직접적인 오염원으로 작용할 뿐 아니라, 주변 대기와 토양환경에 대한 2차오염을 야기한다. 따라서 해수 내에 서식하는 수생물 뿐만 아니라 해양환경을 매개로 서식하는 조류나 사람들에게까지 여러 가지 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려지고 있다.

원유유출에 따른 주변 환경계의 폐해규모나 양상을

체계적으로 파악하기 위하여, 많은 과학자들이 다양한 방식으로 연구를 수행하였다. 특히 초기에는 일부 연구들이 해양생태계의 먹이사슬에서 상위 존재하는 조류와 같은 생물체를 대상으로 생체학적 변화를 설명하기 위해 많은 노력을 쏟았다.⁴⁾ 그러나 최근에는 이런 연구들이 보다 난도가 높은 인체의 폐해 유무에 대한 영역으로 조사대상을 확장하는 추세에 있다. 그 실례로 스페인의 학자들은 2002년 스페인 해역에서 발생한 프레스티지호의 기름유출사건 당시에 방제참가자들의 생체면역학적 변화여부를 대조군으로 설정한 비참가자들에 대비하는 방식으로 조사하였다.⁵⁾ 이들의 연구결과에 의하면, 방제작업에 참여한 사람들의 호르몬 분비에 변화가 초래되었다는 것을 밝히고 있다. 2003년 7월 파키스탄의 카라치 인근 해역에서 좌초한 그리스 선적의 유조선 타스만 스피릿 (Tasman Spirit)호 사건의

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: khkim@sejong.ac.kr

경우에도 이와 유사한 조사를 실시한 바 있다.⁶⁾ 사고후 방제작업에 참여한 건강한 젊은이들을 대상으로 심폐기능의 변화유무를 1년의 터울로 조사하였다. 이러한 연구결과는 작업에 참여한 사람들의 심폐기능이 상당부분 위축되었다는 것을 확인해 주었다.

본 연구에서는 2007년 12월 태안반도에서 발생한 우조선 허베이 스피릿호의 원유유출과 그에 따른 악취발생의 문제를 조사하였다. 이미 원유유출과 그에 따른 대기질 오염 및 악취발생의 문제는 많은 사람들에게 잘 알려져 있다.^{5,6)} 선행연구의 결과들에 의하면, 원유유출에 의한 대기오염에 노출될 경우, 두통, 기침, 숨가쁨, 목의 자극, 천식 등을 경험하는 것으로 알려져 있다. 이러한 문제발생 가능성을 감안하여, 본 연구진은 사고발생 후 100시간 경과 시점 및 한 달 시점을 택하여 두 차례에 걸쳐 사고 지점의 공기시료를 채취하였다. 그리고 이들 시료를 대상으로 악취방지법을 통해 규정한 지정악취성분들의 분포특성을 조사하였다. 이를 통해, 현장에서 발생한 악취문제의 원인을 진단하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 측정 지점 및 채취방법

2007년 12월 7일 오전 7시 15분 경 태안군 만리포 북서방 약 8 km 해상에서 예인선으로부터 분리된 부선과 유조선 (허베이 스피릿호)의 충돌에 의한 원유유출 사고가 발생하였다. 당 사고는 1995년 7월 23일 전라남도 여천군 군남면 동쪽 앞바다에서 발생한 '씨프린스' 호 사고에서 발생한 기름유출량(5035 kL)의 2배를 초과하는 12,547 kL를 기록하였다. 본 연구는 원유유출 사고가 발생한 지점에서 가장 인접한 태안반도의 만리포 지역을 조사 대상으로 선정하였다. 태안 만리포 지역에 대한 대기 시료의 채취지점은 해안선을 기준으로 결정하였다. 시료의 채취는 원유유출의 직접적인 피해를 입은 해변 모래사장 두 곳(A, B)과 이 지점들로부터 평행선상에 놓인 인근 주거지역 두 곳(C, D)을 포함하는 4개 지점을 중심으로 실시하였다(Fig. 1). 시료 채취 시기는 방제작업에 의한 대기질 변화를 조사하기 위하여, 사고발생 후 약 4일이 지난 2007년 12월 11일(1차 조사)과 30일이 지난 2008년 1월 9일(2차 조사)에서 2차례에 걸쳐 실시하였다. 각 차수별 조사는 A, B 지점에서 30분 간격으로 3차례 그리고 C, D 지점에서 1차례씩 시료를 채취하는 방식으로 진행하였다.

본 연구에서는 사고지역을 중심으로 주요 악취 화합물들의 시공간적인 농도분포 특성을 파악하기 위하여, 기기분석법에 기초하여 악취성분들의 농도 측정을 실시하였다. 본 연구에서는 Table 1에 제시한 12가지 지정악취성분들을 주 분석대상으로 설정하였다(추가로 원유의 유출과 직접적인 연관성이 높은 탄화수소 성분들에 대한 분석결과는 추후 연구에서 제시하고자 한다). 이들에 대한 채취 및 분석방법에 대한 일반적인 특성은 본 연구진이 서울시의 도심 배경관측점에서 악취성분을 조사한 연구논문을 통해 제시한 바 있다.⁷⁾ 각 성분별 분석특성을 감안한 시료채취방식을 적용하여, 성분별로 시료의 채취 분석을 실시하였다. 환원황화합물(reduced sulfur compounds, RSC), 휘발성유기화합물(volatile organic compounds: VOC), 트리메틸아민(trimethylamine, TMA) 성분은 각각 테들러 백을 이용한 간접채취방식으로 진행하였다. 10 L 테들러백을 진공형 링샘플러 (lung sampler, ACEN, Korea) 내부에 테플론 튜빙을 연결하고, 링샘플러 내부를 진공상태로 유도하였다. 퀵 샘플링 방식으로 약 1~2분간 진공을 유도하고, 진공이 형성된 시점에 테들러 백의 입구를 밸브로 열어 외부 공기시료를 백 내부로 유도 채취하였다. 알데하이드 성분의 채취는 DNPH 카트리지를 이용하여 상온 선농축 방식으로 진행하였다. 카트리지에 미니펌프 (Sibata, Japan)를 연결하여 1 L/min의 유속으로 15분간 (총 15 L의) 대기시료를 카트리지로 통과시켰다. 그리고 시료채취 시에는 분석대상물질의 간섭을 최소화하기 위해, 카트리지 전단부에 오존스크리버를 장착하여 사용하였다. 암모니아 시료는 공정시험법에 준하여 임핀저 방식으로 채취하였다. 봉산용액을 담은 임핀저에 대기시료를 통과시키는 방식으로 암모니아 성분의 흡수를 유도하였다. 이러한 방식으로 채취한 시료들은 다음과 같이 개별 시스템으로 분석하였다.

2.2. 시료의 분석

2.2.1. 환원황화합물 (RSC)

황성분에 고감도를 보이는 GC/PFPD (Pulsed flame photometric detector: O.I Co., Model 5380, USA) 시스템을 이용하여, Tedlar bag으로 채취한 시료들을 분석하였다. 이들 성분의 분석은 저온농축열탈착 시스템 (Air server (AS)와 Thermal desorber (TD): Markes, Ltd, UK)을 연계하여 분석하였다. 채취 시료를 TD 내부에서 저온농축하기 위하여, 황화합물성분을 cold trap (CT)에 -15°C 온도의 조건에서 일정 유량

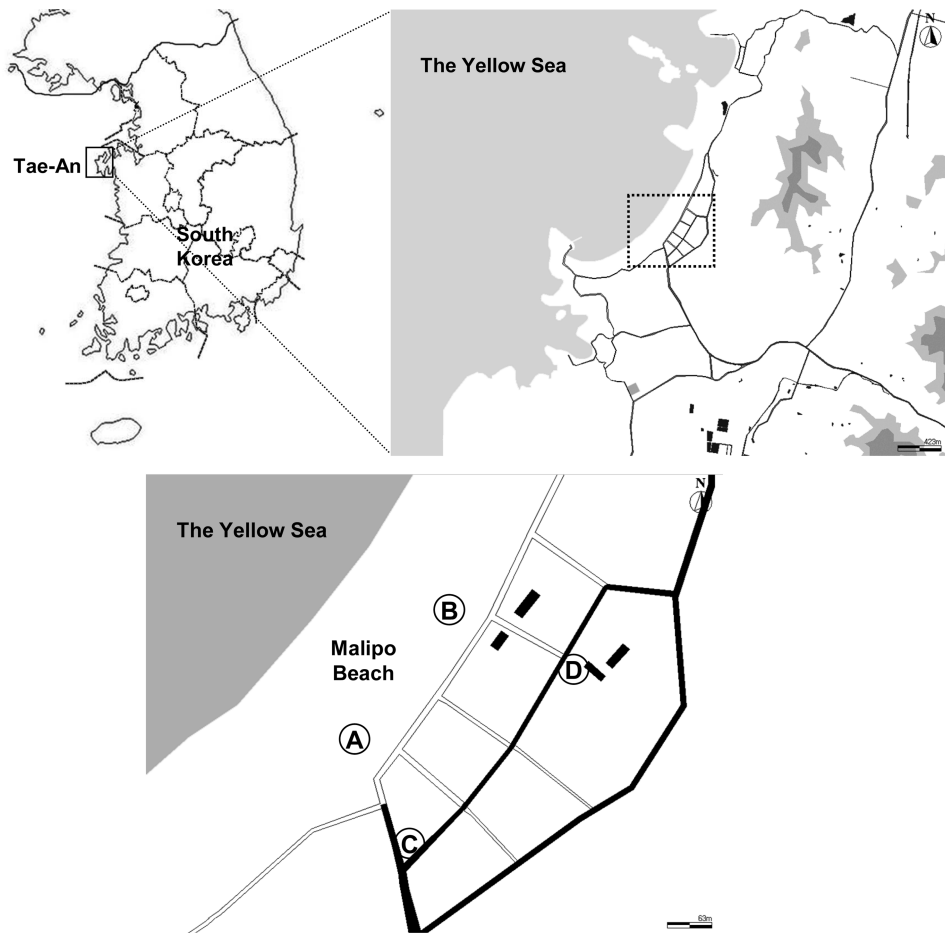


Fig. 1. Geographical location of four sampling sites off the Tae Ahn Peninsula, Korea.

(40 mL/min)으로(총 600 mL 만큼) 주입하였다. CT를 순간 250°C의 고온으로 상승시켜, 5분간 열탈착을 유도하였다. 열탈착 시료는 GC (Donam instrument, Model: DS 6200, Korea)의 칼럼으로 이동시켜 분석하였다. TD 내부에서 RSC 성분들에 대한 저온농축을 유도하기 위해, Carboxpack B와 Silica gel을 충전한 CT를 사용하였다. GC 내부에서 황화합물들을 분리하기 위해, BP-1 (Length: 60 m, ID: 0.32 mm, Film thickness: 5.0 µm, SGE) 칼럼을 사용하였다.

2.2.2. 트리메틸아민 (TMA)

트리메틸아민의 분석은 시료를 채취한 Tedlar bag에 SPME (solid phase micro extraction)를 주사하여, 상온조건에서 TMA의 농축을 유도하는 방식을 적용하였다. SPME fiber에 농축한 시료는 곧바로 GC의 인젝터에 주입하여 분석하였다. TMA성분의 농축 및 흡착은

PDMS/DVB (polydimethylsiloxane/divinylbenzene, 65 µm coating, Supelco) fiber로 10분간 유도하였다. 흡착을 유도한 fiber를 GC (Model: Dani-GC 1000, Italy)의 injector에 주입하여 210°C로 5분간 탈착하였다. TMA성분의 최종적인 검출은 Nitrogen phosphorous detection (NPD) 검출기 그리고 칼럼은 CP 7448-Volamin (length: 60 m, ID: 0.32 mm, film thickness: 1.8 µm, Varian)을 사용하였다. SPME 농축방식의 처리와 관련한 일반적인 단점(시료의 손실가능성 등)이 존재하지만, 시료를 빠르고 간편하게 분석하는 측면에서는 유리하다. 이러한 분석기법의 적용에 대한 기본적인 정도관리는 본 연구진의 선행연구를 통해 제시한 바 있다 (임문순 외, 2006).

2.2.3. 알데하이드 성분

알데하이드 성분의 분석은 채취한 DNPH 카트리지를

Table 1. A full list of target odorous pollutants selected in this study.

Odor Type	Pollutants		Structural formul	Regulation criteria type ¹⁾	Analytical method ²⁾
	Full name	Short name			
A. Carbonyl compounds	Formaldehyde	Form-A	HCHO	I	DNPH/HPLC
	Acetaldehyde	Acet-A	CH ₃ CHO		
	Acrolein	Acrolein	CH ₂ =CHCHO		
	Acetone	Acetone	CH ₃ COCH ₃	II	
	Propionaldehyde	Propion-A	CH ₃ CH ₂ CHO		
	crotonaldehyde	Croton-A	CH ₃ CH=CHCHO	II	
	Butyraldehyde	Butyr-A	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO		
	Benzaldehyde	Benz-A	C ₆ H ₅ CHO		
	Isovalerldehyde	Isovaler-A	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO		
valealdehyde	Valer-A	CH ₃ (CH ₂) ₃ CHO	II		
B. Reduced S compounds	Hydrogen sulfide	H ₂ S	H ₂ S	I	GC/PFPD
	Methyl mercaptan	CH ₃ SH	CH ₃ SH	I	
	Dimethyl sulfide	DMS	(CH ₃) ₂ S	I	
	Carbon disulfide	CS ₂	CS ₂	I	
	Dimethyl disulfide	DMDS	(CH ₃) ₂ S ₂		
C. Total and individual VOC	Total hydrocarbon	THC			Micro FID
	Total VOC	TVOC			
	Benzene	B	C ₆ H ₆	I	GC/FID
	Toluene	T	C ₆ H ₅ CH ₃		
	Ethylbenzene	E	C ₆ H ₅ C ₂ H ₅		
	m,p-Xylene	MPX	(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄		
	Styrene	STY	C ₆ H ₅ CH=CH ₂		
	o-Xylene	OX	(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄		
	Bromobenzene	BB	C ₆ H ₅ Br		
	1,3,5-Trimethylbenzene	1,3,5-TMB	(CH ₃) ₃ C ₆ H ₆		
	1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-TMB	(CH ₃) ₃ C ₆ H ₇		
	p-Isopropyltoluene	p-IPT	C ₁₀ H ₁₄		
n-Bulylbenzene	n-BB	C ₁₀ H ₁₄			
D.	Ammonia	NH ₃	NH ₃		
E.	Trimethyl amine	TMA	(CH ₃) ₃ N	I	GC/FID

1] Pollutant type: Chemicals of type I and II were designated as criteria odorous pollutants before and after the new regulation started in Feb. 2005 by the Korean Ministry of Environment (KMOE), respectively.

2] Sampling and analytical method: DNPH = sampling by a DNPH-cartridge, HPLC = analysis by HPLC method, GC = gas chromatography, PFPD = pulsed flame photometric detector, FID = flame ionization detector, and UVS = UV spectrometer.

를 HPLC/UV 방식에 적용하여 분석하였다. 시료를 채취한 DNPH 카트리지에 5 mL의 acetonitrile 용액을 주입하여, 알데하이드 성분들을 용출하였다. 이를 HPLC (Lab Alliance, Model 500)에 20 µL 만큼 주입하는 방식으로 분석하였다. 이동상 용액으로 모든 카보닐계 성분을 효과적으로 분리시키기 위해, 70% acetonitrile 용액 (acetonitrile : water = 7 : 3)을 사용하였다. 카보닐 계열의 화합물들과 2,4-DNPH의 혼합물 유도체의 분석은 UV 검출기의 감응도가 가장 뛰어난

360 nm 파장대에서 검출하였다. 이들 성분의 분리를 위하여 Hichrom 5 C18 (length: 25 m, ID: 4.6 mm, 비극성: reversed phase) 칼럼을 사용하였다.

2.2.4. 암모니아 (NH₃)

NH₃ 분석은 채취한 흡수액에 인도페놀법을 적용하여, UV/VIS 분광계측기 (Model: Genesys 10 series, Thermo electron Corp., Germany)로 분석하였다. 시료를 흡수시킨 봉산용액 10 mL에 페놀니트로푸르시드

용액 5 mL와 차아염소산나트륨 5 mL를 차례로 주입하여 1시간 동안 발색을 유도하였다. 발색시료는 셀에 3 mL씩 담고, 분광계측기로 635 nm 파장대에서 분석하였다.

2.2.5. 휘발성유기화합물 (VOC)

휘발성유기화합물 중에서 유일하게 12가지 지정악취물질에 속하는 styrene의 분석은 열탈착시스템을 결합한 GC/FID 시스템을 이용하였다. 시료를 채취한 백을 열탈착 시스템에 주입하여 저온농축과 열탈착을 단계적으로 유도한다. 이를 다시 GC/FID (Donam Instrument, Korea)를 이용하여 분석하였다. 이 때, VOC 성분의 분리는 DB-VRX (Length: 60 m, ID: 0.32 mm, Film thickness: 1.8 μ m, J&W) 칼럼을 사용하였다.

3. 결과 및 토론

본 연구에서는 원유유출사고에 따른 악취물질의 분포특성을 사고의 영향이 현저한 시점과 사고의 영향이 줄어든 시점에 대조하는 방식으로 조사하고자 하였다. 조사대상물질은 환경부의 악취방지법에 준하여 설정한 기준성 항목을 중심으로 실시하였다. 그리고 이러한 기기 계측의 조사내용을 보완하기 위하여, 희석배수를 이용한 복합악취의 측정을 실시하였다. 두 차례에 걸쳐 조사한 결과를 비교해 보면, 대부분기준성 악취물질들에서 뚜렷한 오염의 경향성을 찾기가 어려웠다. 1차 조사시기는 사고 발생 100시간 시점으로 강한 악취를 직접 체감할 수 있을 정도로 공기오염 상태가 심각하다는 것을 느낄 수 있는 시점이었다. 반면 2차 조사시기는 적극적인 방제작업의 결과로 만리포 지역의 원유오염이 가시적인 측면에서 현저하게 경감한 상황에 해당한다. 2차에 걸친 조사시기의 차이에도 불구하고, 대부분 기준성 악취물질들의 농도차이는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

일반적으로 도심환경과 같은 곳에서 대기오염의 민감한 지표로 활용할 수 있는 방향족 화합물들의 경우, 1, 2차 조사 모두에서 도심의 배경농도와 유사한 수 ppb 이내 수준의 농도로 검출되었다. 이러한 농도수준은 일반적으로 교통량이 많은 도심지역에서 발견할 수 있는 농도에 비해서도 현저히 낮은 수준이다. 대개 원유와 같은 기름성분이 유출될 경우, 여러 가지 탄화수소화합물들이 고농도로 배출될 것으로 쉽게 예측할 수

있다. 그런데 실제 사고초기 시점인 1차 조사 (100시간 경과 시점)에서 일반적으로 기름에서 쉽게 발견할 수 있는 방향족 탄화수소들의 존재가 미미한 상황에 주목할 필요가 있다. 이러한 현상은 두 가지 관점에서 설명할 수 있을 것으로 사료된다. 첫 째, 유출된 원유로부터 대기로 배출되는 탄화수소는 대체로 탄소수가 작은 저분자량의 탄화수소성분들 (예를 들어, 방향족 계열의 탄화수소들)이 상대적으로 중요한 부분을 차지할 것으로 예상된다. 그런데 이들 성분은 본 연구진이 조사를 시작한 100시간 경과 시점에 상당 부분 휘발하여, 그 농도수준이 현저하게 경감하였을 것으로 추정할 수 있다. 두 번째로는 유출된 원유가 정제되지 않은 조건이므로, 상대적으로 탄소수가 많은 성분들이 주를 이룬다. 따라서 상대적으로 저분자화합물인 BTX류의 성분들보다는 고분자 (예를 들어, 탄소수가 8개 이상)인 성분들에 의한 대기오염 또는 악취발생이 보다 더 심각하게 나타난 것으로 볼 수 있다. 이러한 상황을 보다 체계적으로 설명하기 위해서는, 실제 사고로 유출된 원유를 이용하여 추가적인 조사를 하는 것이 필요할 것이다.

방향족 탄화수소의 분석결과들과 유사하게 악취물질의 민감한 지표인자로 활용하는 아세트알데하이드 및 기타 카보닐 계열의 성분들도 그 농도가 일반적으로 환경대기에서 발견할 수 있는 수 ppb 수준을 넘지 않는 것으로 나타났다. 마찬가지로 환원황화합물들의 경우, 대부분 0.15 ppb 수준의 검출한계 이하로 나타났다(채취한 시료들은 오염여부를 비교하는 목적에 맞추어, 소량의 시료만을 분석하였다. 분석시료의 양이 제한적이므로, 검출한계는 ~0.1 ppb 수준 이상에서 모든 분석을 실시하였다). 여타 황화합물들과는 달리 이황화탄소와 이산화황과 같은 성분들은 검출한계를 훨씬 넘는 상대적인 고농도로 나타났다. 특히 2차 조사에서 이황화성분이 고농도로 검출된 것은 이례적이다. 그리고 마지막으로 질소화합물에 속하는 TMA와 암모니아의 결과를 보면, 대조적인 양상이 나타난다. TMA의 경우, 1차 조사에서 0.1 ppb 수준의 농도를 유지하였지만, 2차 조사에서는 대부분 검출한계에 제한되는 수준으로 낮게 나타났다. 반면, 암모니아는 972 ppb를 기록하였고, 2차 조사에서는 692 ppb로서 조금 감소한 경향을 보였다. Table 2에 제시한 것처럼, 조사대상으로 설정한 모든 개별 악취성분들 중에서 암모니아는 타 성분들에 비해 현저하게 높은 농도를 기록하였다. 그렇지만, 암모니아의 체감한계 농도가 1.5 ppm 수준이란 것을 감안

Table 2. The results of air dilution sensory test expressed in terms of dilution-to-threshold (D/T) ratio.

Target	Time	Mean	Median	SD	Min	Max	N(> BDL)
Air Dil'n	1st visit	121.88	90.00	95.63	25.00	311.00	8
Sensory	2nd visit	43.75	37.50	28.45	17.00	97.00	8

Table 3. The analytical results of offensive odorant samples collected from offshore areas near oil spill (n = 8)

[a] The 1st campaign (100 hr after the accident: 9 Dec. 2007)							
Group	Pollutants	Mean	Median	SD	Min	Max	N(> BDL)
A. VOC & TVOC	B	0.43	0.14	0.80	0.14	2.41	2
	T	1.23	1.16	0.78	0.11	2.92	7
	EB	0.33	0.11	0.63	0.11	1.90	1
	MPX	0.50	0.13	1.05	0.04	3.07	4
	OX	4.61	1.39	8.39	0.08	24.89	6
	STY	0.42	0.12	0.84	0.12	2.49	1
	BB	0.43	0.24	0.56	0.24	1.82	1
	1,3,5-TMB	0.65	0.15	1.29	0.15	3.83	3
	1,2,4-TMB	2.35	1.50	3.16	0.20	9.54	8
	p-IPT	0.72	0.16	1.60	0.16	4.68	1
n-BB	0.38	0.23	0.29	0.23	0.99	2	
B. Aldehyde	Form-A	6.48	4.04	6.68	2.62	22.33	8
	Acet-A	2.61	2.48	0.73	1.72	3.84	8
	Acetone	1.95	1.60	0.65	1.43	3.10	8
C. S compound	CS ₂	0.33	0.28	0.17	0.17	0.67	8
	SO ₂	4.14	3.56	1.57	2.39	6.71	8
D	NH ₃	972	442	1333	146	4176	8
E	TMA	0.09	0.05	0.11	0.05	0.35	1
[b] The 2nd campaign (~1 month after the accident: 9 Jan. 2008)							
Group	Pollutants	Mean	Median	SD	Min	Max	N(BDL)
A. VOC & TVOC	B	0.38	0.44	0.14	0.14	0.53	7
	T	4.17	3.20	3.14	2.20	11.70	1
	EB	0.27	0.27	0.05	0.20	0.36	7
	MPX	0.23	0.24	0.05	0.17	0.31	4
	OX	0.08	0.08	0.00	0.08	0.08	8
	STY	0.15	0.12	0.09	0.12	0.38	8
	BB	0.24	0.24	0.00	0.24	0.24	8
	1,3,5-TMB	0.15	0.15	0.00	0.15	0.15	8
	1,2,4-TMB	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	8
	p-IPT	0.16	0.16	0.00	0.16	0.16	8
n-BB	0.23	0.23	0.00	0.23	0.23	8	
B. Aldehyde	Form-A	42.80	41.55	11.21	29.80	59.90	8
	Acet-A	4.52	4.28	2.58	2.02	8.47	8
	Acetone	2.00	0.75	3.56	0.69	10.80	2
C. S compound	CS ₂	16.46	16.34	3.61	11.33	23.27	7
	SO ₂	0.19	0.19	0.00	0.19	0.19	8
D	NH ₃	692	681	273	309	1200	0
E	TMA	0.05	0.01	0.07	0.01	0.21	6

하면, 가장 고농도인 암모니아조차 실질적으로 원유유출지역의 악취발생을 설명하는데 부족하다.

이러한 비교분석의 결과를 종합해 보면, 1, 2차 조사 모두 개별 지정 악취성분들이 실질적으로 현장의 악취발생에 기여할 가능성이 미미하다는 것을 추정할 수 있다. 특히, 1차 조사 당시에 악취문제로 현장에 체류하던 많은 사람들이 악취문제로 고통을 경험하였다는 점을 감안하면, 현장의 악취발생을 이들 지정악취물질들을 중심으로 설명하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다. 원유 유출사고 지점에서 여러 가지 악취의 발생에 대한 문제점은 외국의 선행연구에서도 시사한 바 있다.⁶⁾ 결과적으로 원유유출과 같은 특정한 사고로부터 발생하는 악취문제를 일반적인 악취성분의 분석방식으로 접근하여 설명하는 것은 문제가 있다고 볼 수 있다. 실제 기준성 악취성분을 이용한 진단의 문제점은 1, 2차 현장조사에서 보완적으로 조사한 복합악취의 강도에 대한 조사결과를 보면 알 수 있다. 2007년에 개정된 악취방지법의 기타지역에 대한 복합악취의 배출기준은 15배로 지정하고 있다. 실제 현장에서 채취한 시료의 복합악취는 1차 조사에서 평균 120배로서 기준치를 8배 정도 상회한다. 2차 조사에서는 44배로 현저하게 저감하였다. 조사 대상지역이 해변가라는 점을 감안하면, 기본적으로 항상 일정한 수준으로 바다냄새가 존재하는 것을 예측할 수 있다. 그러나 1차 조사 당시에 많은 사람들이 고통을 호소할 정도의 악취문제는 지정악취물질들의 관측결과로 설명하기가 어렵다. 그러나 복합악취의 관점에서는 어느 정도 설명할 수 있는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 원유유출사고 지역을 대상으로 악취방지법에 기초한 지정악취물질과 복합악취를 2차례((1) 사고 직후 시점 (100시간 경과 시점)과 (2) 방제작업이 상당 부분 진행된 시점 (1개월 경과))에 걸쳐 조사하였다. 이 조사를 토대로 원유유출에 따른 지정악취물질의 발생 여부를 비교평가하였다. 본 연구의 결과에 의하면, 일반적인 지정악취물질들에 대한 기기분석으로는

원유에 의한 악취를 충분히 설명하기가 어렵다는 것을 알 수 있다. 비록 기기분석을 보완하는 관능분석의 결과로부터 원유에 의한 악취발생 유무를 판단할 수 있었지만, 이러한 현상을 체계적으로 진단하기 위한 방법론적 개발의 필요성을 확인할 수 있다. 현행 지정악취물질들의 경우, 공업시설 또는 축산시설과 같이 생활환경에서 발생하는 악취의 감지에 유용하다. 그러나 이러한 기준은 원유유출과 같이 특정한 배출원으로부터 발생하는 악취문제를 진단하기에는 적절하지 않은 것으로 사료된다. 특히, 원유유출과 관련하여 발생가능한 악취물질들의 유형이나 인체의 유해성에 대한 정보가 아직까지 체계적으로 축적되지 않은 상황이다. 이들 오염물질들에 대한 분석방법 및 관리체계의 체계적인 정립이 필요한 시점이다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행한 연구임 (KRF-2006-341-C00026).

참고문헌

1. Lyons, R.A., J.M. Temple, D. Evans, D.L. Fone, and S.R. Palmer, *J. Epidemiol.*, **1999**, 53(5), 306-310.
2. Moritani, A., Y. Kusaka, Y. Deguchi, A. Moriuchi, Y. Nakanaga, M. Iki, S. Miyazaki, and K. Kawahara, *Environ. Res.*, **1999**, 81(3), 185-194.
3. Carrasco, J.M., V. Lope, B. Perez-Gomez, N. Aragonés, B. Suarez, G. Lopez-Abente, F. Rodriguez-Artalejo, and M. Pollan, *B.M.C. Public Health*, **2006**, 36(1), 1.
4. Alonso-Alvarez, C., C. Perez, and A. Velando, *Aquatic Toxicology*, **2007**, 84, 103-110.
5. Perez-Cadahia, B., A. Lafuente, T. Cabaleiro, E. Pasaro, J. Mendez, and B. Laffon, *Environ. Int.*, **2007**, 33, 176-185.
6. Meo, S.A., A. M. Al-Drees, I.M.U. Meo, M.M. Al-Saadi, and M. A. Azeem, *Marine Pollution Bulletin*, **2008**, 56, 88-94.
7. 안지원, 김기현, 정명채, 서울시 도심지역을 대상으로 한 주요악취성분들에 대한 관측. 한국냄새환경학회지, 투고중.