

선박을 이용한 1999년 황해에서의 휘발성유기화합물 측정 자료

Shipboard Measurement Data of Volatile Organic Compounds in the Atmosphere Over the Yellow Sea in 1999

김용표 · 이승복 · 나광삼 · 진현철 · 윤용석 · 배귀남 · 문길주
한국과학기술연구원 지구환경연구센터
(2000년 3월 2일 접수, 2000년 6월 8일 채택)

Yong Pyo Kim, Seung Bok Lee, Kwangsam Na, Hyun-Chul Jin,
Yong Suk Yoon, Gui-Nam Bae and Kil-Choo Moon
Global Environmental Research Center, Korea Institute of Science and Technology
(Received 2 March 2000; accepted 8 June 2000)

1. 배 경

최근 황해의 오염도에 대한 관심이 증가하면서, 대기로부터의 침적에 의한 오염물질의 유입이 얼마나 중요한지에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다(예로, 양동범 등(1998)의 결과와 인용된 참고문헌들을 참고). 대기오염물질의 유입에 의한 수계의 오염에 관한 연구는 호소나 연안, 그리고 황해와 같은 내해에 대해 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 한 예로 미국과 캐나다 사이의 오대호의 수질 연구 결과, 오대호의 하나인 Lake Superior에서의 PCB 농도의 90% 이상이 대기로부터의 침적에 의해 유입된 것으로 밝혀졌다(US EPA, 1997). 황해로 침적되는 대기오염물질의 양을 정량화하기 위해서는 황해에서 대기중 미량성분의 농도를 직접 측정하는 것이 중요하다. 특히 육상이 아닌 해상에서의 농도 분포는 황해로의 침적량을 산출하는데 중요한 자료이다. 한국과학기술연구원 지구환경연구센터에서는 1999년 3회에 걸쳐 황해에서 선박을 이용하여 대기오염물질의 농도를 측정하였다. 여기서는 황해상의 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds,

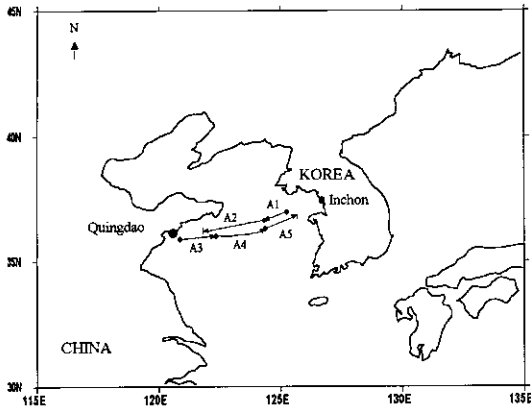
VOCs) 측정 결과를 제시하여 앞으로 수행될 연구의 기초자료로 제공하고자 하였다.

2. 측정 분석

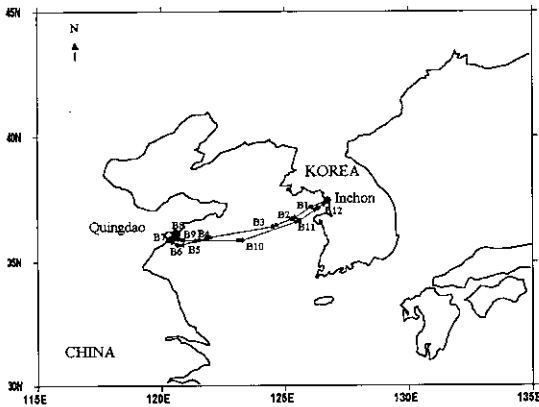
2.1 측정 항로 및 계획

측정은 3차례에 걸쳐 이루어졌다. 1999년 6월 12~15일과 10월 23~26일 두 차례는 인천과 중국 청도(Qingdao)를 왕복하는 콘테이너 여객선 항설란호에서 측정하였다. 또, 1999년 8월 8~15일에 한국해양연구소의 연구선 이어도호를 이용하여 측정하였다. 각 항해의 항로와 측정 위치, 시료 번호를 Fig. 1에, 측정 시간을 표 1에 보였다.

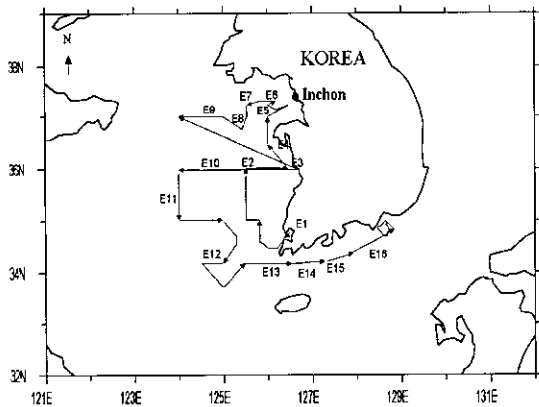
항설란호는 16,071톤의 콘테이너 여객선으로 인천과 중국 청도(Qingdao)를 왕복하고 있다. 두 차례의 측정 모두 오후 3~4시경에 출항하였고 그 다음날 오전 11시경에 청도에 도착하였다. 도착 다음날 저녁 8시경에 다시 청도에서 출항하였고 그 다음날 오후 15~16시경에 인천으로 돌아왔다. 편도 소요 시간은 약 19시간이지만 접안 등에 소요되는 시간을 제외한 실제 운항 시간은 약 16시간이다. 6월 측정기간에는 약한 안개가 끼기도 하였고 강한 역풍



a) 1999년 6월 향설란호(인천~청도).



b) 1999년 10월 향설란호(인천~청도).



c) 1999년 8월 이어도호.

Fig. 1. 황해상 1999년 선박측정 항로 및 측정위치.

이 불기도 하였으며 자정의 기온은 약 21°C이었다. 10월 측정기간에는 구름 없는 맑은 날씨가 계속되었고 바람은 잠잠하여 평온하였다.

이어도호는 총톤수 546톤의 연구선으로, 8월 8일 목포항을 떠나, 연안을 따라 북상한 후, 서쪽으로 항해한 후, 남쪽으로 내려오면서 여러 지점에서 정지하여, 해수와 해저 침적물을 채취하였다. 측정기간 중의 기상은 8월 11일 군산 앞바다에서 소나기가 온 것 외에는 전반적으로 맑거나 구름이 낀 상태였다. 기온은 23~28°C 사이로 높은 편이고, 바람은 8월 8~10일 오전까지는 동풍이나 북동풍이 우세하였으나, 그 이후에는 남풍이나 동남풍이 우세하였다. 풍속은 8월 10일에 3~5 m/sec로 낮았으나, 그 외의 기간은 6~14 m/sec로 상당히 높았다.

향설란호는 항로가 결정되어 있고, 항해의 대부분이 야간에 이루어지므로, 육지에서의 거리에 따른 농도 변화 관측이 주목적이었다. 이어도호에서의 휘발성유기화합물 분석용 시료의 채취 계획은 크게 (1) 한반도와의 거리 차이에 따른 농도 변화와 (2) 농도의 일변화를 관측하기 위하여 만들어졌다. 시료 E5~E9는 37°N~37.5°N 사이에서 한반도와의 거리에 따른 농도를 관측하고, 8월 10일의 농도 일변화를 관측하기 위한 시료이다. 또한, 시료 E1과 E3, E4, 그리고 E5, E6은 각각 전라남도, 전라북도~충청남도, 경기도 연안에서의 농도를 측정하는 것이며, 시료 E9, E10, E12는 각 지역의 125°E 부근의 농도를 채취한 것이다. 시료 E11은 124°E에서의 시료이다. 시료 E2~E4는 8월 9일에 시간대별로 측정하는 것으로, 휘발성유기화합물 농도의 일변화 여부를 관측하기 위한 것이다. 시료 E13~E16은 남해안에서의 농도변화를 관측하고, 8월 14일의 일변화를 관측하기 위한 것이다.

선박 정지 중에는 선박 굴뚝에서 배출되는 연소기체가 큰 오염원이므로, VOC 분석용 시료는 선박이 정상속도로 운항하는 동안에만 수행하였다. 향설란호는 평균 약 20노트로, 이어도호는 평균 10노트로 운항하였으며, 정지후 이동하여 정상속도까지 도달하는 데에는 1~2분 정도가 소요되었다. 그러나 선박에 의한 영향을 최소화하기 위해 정지 전후 20분 동안은 측정을 수행하지 않았다. 측정기는 선박 굴뚝에 의한 영향을 최소화하기 위해 선박 굴뚝보다 진행방향으로 앞쪽에 (향설란호의 경우에는 약

16m 앞, 이어도호의 경우에는 약 17.5m 앞) 설치하였다. 향설란호의 경우 측정기는 해수면으로부터는 약 14m 높은 갑판에 설치되었으며, 채취장치의 높이는 굴뚝보다 약 3m 정도 낮았다. 이어도호의 경우, 측정기는 해수면으로부터는 약 6m 높은 상갑판에 설치되었으며, 채취장치의 높이는 굴뚝보다 약 1m 정도 높았다.

2.2 측정 및 분석

휘발성유기화합물 분석용 기체 시료의 채취는 미국환경보호청 TO-14 방법에 따라 수행하였다. 간단히 요약하면, 진공 처리한 6L 용량의 크롬 코팅된 스테인레스 재질의 용기에, 입자를 거른 공기를 일정 유량으로 주입하였다. 채취 시간은 인천~청도 항로를 운항하는 향설란호에서의 6월 측정에서는 4~6시간이었고, 10월 측정에서는 약 1분이었다. 이어도호에서의 측정시간은 약 1시간으로, 이 때의 용기의 압력은 5~10 psig이었다.

분석은 약 70여종의 유기화합물에 대해서 수행하였고, GD-FID와 GC-MS를 이용하였다. 분석에 사용한 GC-MS는 Varian 사(Walnut Creek, CA, USA)의 Varian 3,400 cx GC와 Saturn 2,000 MS이다. 대기 시료 및 표준시료의 농축관으로는 60~80 mesh의 glass bead가 충전된 SPT (sample preconcentration trap)을 사용하였다. 액체질소로 -150°C에서 5.5분 유지하여 trapping 한 후 170°C에서 11.3분간 유지하여 시료를 탈착시켰다. 이때, 시료의 유속을 20 mL/min으로 조절하여 5분간 농축하였다(100 mL). 분석컬럼은 DB-1(J&W, USA)로 길이가 60m, 내경이 0.32 mm, 필름두께가 0.25 μm이다. 컬럼온도는 초기 0°C에서 7분간 유지한 후 170°C까지 분당 15°C씩 승온하여 6분간 유지하였다. 질량의 이온화는 전자이온화 방식이고, 질량 범위는 47~270 amu이었다. Ion trap의 온도는 200°C로 유지하였다. 기기 검정을 위한 표준시료는 Scott사(미국 Scott Specialty Gases)의 100 ppb 혼합물을 사용하였다. 분석항목은 C2~C9의 탄화수소, 산화유기화합물, 할로겐화 유기화합물 70여종이다. 검출한도는 C2~C3 화합물은 0.5 ppb이고, C3 이상의 화합물은 0.1 ppb이다. 대기 시료 분석에 대한 상대표준편차는 5회 반복 분석한 결과, 약 3~15%이다. 유기화합물의 자세한 측정, 분석 방법은 나광삼 등(1998)에 제시되어 있다.

3. 측정 결과

표 1에 각 시료의 성분별 농도를 보였다. 대부분의 성분의 농도가 검출한도 이하로 나타나 휘발성 유기화합물의 농도가 매우 낮았다.

향설란호에서 측정한 시료는 B2, B3, B4, B8, B11 시료를 제외하고는 총농도가 5 ppb 이하였다. 농도가 높은 앞의 5개 시료의 경우도 B4, B8, B11 시료는 한 성분의 농도가 높았으며, 그 한 성분을 제외하면 총농도가 5 ppb 이하로 낮아진다. 이와 같이 한 성분의 농도만 높은 현상은 주위 선박 등에 의한 국지적인 배출에 의한 것으로 보인다. 일반적으로 육지에서 떨어질수록 낮은 농도를 보이고 있다.

이어도호에서 측정한 시료의 경우 시료 E5를 제외하고는 총농도가 8 ppb 이하로, 도시지역의 농도에 비해 매우 낮다. 이 중 3개 이상의 시료에서 0.5 ppb 이상 농도가 관측된 물질은 알칸족에서는 에탄, 프로판, 이소부탄, 노말부탄, 노말헥산의 5 종류이고, 알켄족에서는 시스-2-헥센, 염화유기화합물에서 디클로로메탄이다. 또한, 0.1 ppb 이상의 농도가 관측된 물질은 방향족, 염화유기화합물, 알칸족에 많으며, 알켄족과 시클로알칸족에서는 시료 E5에서 사이클로헥산이 0.2 ppb의 농도로 한 번 검출된 것 이외에는 없다. 알켄족은 1-부텐이 8개의 시료에서 검출되었으나, 대부분 검출한도 이하의 농도였고, 검출된 물질도 2~3개의 시료에서 검출되었을 뿐이다. 요약하면, 황해상에서의 휘발성유기화합물은 주로 방향족, 염화유기화합물, 탄소수가 적은 알칸족이 주성분이며, 그 농도도 낮았다.

휘발성유기화합물의 일변화를 관측하기 위해, 8월 9일, 10일, 14일에 각각 3~5개의 시료를 시간별로 채취하여 분석하였다. 농도의 일변화를 일으키는 주요 요소는 혼합고의 일변화, 배출량의 변화, 광화학 반응 등의 변환, 침적 등의 기작에 의한 제거이다. 그러나 9일과 10일에는 각각 한반도에서의 거리에 따른 농도 변화가 두드러지게 나타났으며, 도심지역에서와 같이 농도의 명확한 일변화는 관측되지 않았다. 이는 한반도에서의 배출량이 다른 변화들에 의한 영향을 덮을 수 있을 정도로 큰 영향을 미치지기 때문으로 보인다. 이와 같은 결론은 14일에 남해안을 따라 거의 같은 위도로 서쪽에서 동쪽으로 이

(unit: ppb)

Table 1. 황해상 1999년 선박추정된 휘발성유기화합물 측정결과. <LDL는 검출한도 이하를 의미함.

a) 항설란호(인천~청도) 측정결과

Canister No.	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Date	99/06/12	99/06/13	99/06/14	99/06/14	99/06/15	99/10/23	99/10/23	99/10/23	99/10/24	99/10/24	99/10/24	99/10/24	99/10/24	99/10/25	99/10/25	99/10/25	99/10/26
Sampling time	20:15-23:57	23:59-05:59	01:12-08:05	01:14-08:05	08:07-12:52	18:00	21:00	23:15	6:15	7:10	8:25	10:17	10:10	23:10	6:35	13:00	15:35
ethane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	2.2	3.0	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	1.9	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
propane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	1.5	<LDL	1.9	2.9	<LDL	<LDL	<LDL	2.8	9.9	0.9	2.9	13.8	<LDL
butane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.7	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
isobutane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
pentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
isopentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	0.1	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	0.3	<LDL
2, 2-Dmbutane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2, 3-DMbutane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-pentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
3M-pentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
hexane	2.4	0.8	2.4	0.6	0.5	<LDL	0.2	0.2	4.9	0.1	<LDL	0.2	1.0	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2, 3-Dmpentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2, 4-Dmpentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-hexane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
3M-hexane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
heptane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2, 2, 4-Tmpentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2, 3, 4-Tripentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-heptane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
3M-heptane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
octane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
nonane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total alkanes	2.4	0.8	2.4	0.6	2.9	<LDL	4.9	6.2	5.0	0.1	<LDL	3.4	13.1	0.9	2.9	14.0	<LDL
ethylene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	1.3	0.8	0.6	1.3	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
propylene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.6	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1-butene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.5	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1-2-butene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
c-2-butene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
isoprene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
t-2-pentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
c-2-pentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-2-butene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
4M-1-pentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-1-pentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
t-2-hexene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
c-2-hexene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL

(unit: ppb)

Table 1. 계 속.

a) 항실란호 (인천 ~ 청도) 측정결과

Canister No.	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Date	99/06/12	99/06/13	99/06/14	99/06/15	99/06/15	99/10/23	99/10/23	99/10/23	99/10/24	99/10/24	99/10/24	99/10/24	99/10/24	99/10/25	99/10/25	99/10/25	99/10/26
Sampling time	20:15-23:57	23:59-05:59	21:18-01:12	01:14-08:05	08:07-12:52	18:00	21:00	23:15	6:15	7:10	8:25	10:17	10:10	23:10	6:35	13:00	15:35
Total alkenes	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.5	<LDL	<LDL	1.3	0.8	1.2	1.3	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
acetylene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	1.1	0.9	2.2	1.8	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.5
Total alkynes	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	1.1	0.9	2.2	1.8	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.5
cyclopentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
cyclopentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
methylcyclopentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
cyclohexane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
methylcyclohexane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total naphthenes	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Benzene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Toluene	0.3	0.2	<LDL	<LDL	0.1	0.2	<LDL	0.5	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	0.2	0.1	<LDL	1.8	<LDL
Ethylbenzene	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	0.3	<LDL	<LDL	0.2	<LDL
m, p-Xylene	0.2	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	0.2	0.4	<LDL	0.2	<LDL
o-Xylene	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Styrene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1, 2, 4-trimethylbenzene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1, 3, 5-trimethylbenzene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total aromatics	0.7	0.3	<LDL	<LDL	0.1	0.7	<LDL	0.8	<LDL	<LDL	<LDL	0.3	0.8	1.3	<LDL	2.1	<LDL
Vinyl Chloride	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Dichloromethane	0.4	0.9	1.0	0.3	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1, 1-dichloroethane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Chloroform	0.5	0.1	<LDL	0.2	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1, 2-dichloroethane	0.6	0.2	<LDL	<LDL	0.4	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1, 1, 1-trichloroethane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Carbon Tetrachloride	0.1	0.1	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Trichloroethene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1, 1, 2-trichloroethane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Tetrachloroethene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total halocarbons	1.6	1.4	1.0	0.5	0.7	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total C2-C9 VOC	9.3	4.9	6.8	2.4	9.7	<LDL	6.9	9.0	8.0	3.2	1.6	4.2	14.5	1.2	2.9	16.1	0.5

(unit: ppb)

Table 1. 계속
b) 이어도호 측정결과

Canister No.	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16
Date	99/8/8	99/8/9	99/8/9	99/8/9	99/8/10	99/8/10	99/8/10	99/8/10	99/8/10	99/8/12	99/8/12	99/8/13	99/8/14	99/8/14	99/8/14	99/8/14
Sampling time	17:40-18:56	09:04-10:04	13:58-14:53	18:02-18:57	06:10-06:55	09:58-11:05	13:40-14:39	18:37-19:29	21:37-22:32	08:44-09:43	15:35-16:34	15:09-16:09	06:45-07:45	09:56-10:50	13:25-14:21	17:27-18:24
ethane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.8	<LDL	0.6	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.8	0.8	<LDL	<LDL	<LDL
propane	<LDL	<LDL	0.9	0.9	2.4	1.0	2.1	<LDL	<LDL	0.7	0.2	<LDL	<LDL	0.9	<LDL	<LDL
butane	0.2	0.3	0.2	0.5	0.9	1.0	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.4	<LDL	0.9	<LDL	0.2
isobutane	<LDL	<LDL	<LDL	0.5	1.6	0.8	1.6	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
pentane	<LDL	0.2	0.2	<LDL	0.5	0.7	0.3	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.4
isopentane	<LDL	0.1	0.1	<LDL	0.3	0.4	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2,2-Dmbutane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2,3-DMbutane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.2	<LDL	<LDL
2M-pentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
3M-pentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.2	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
hexane	0.2	<LDL	0.2	0.9	0.4	0.2	0.2	2.2	0.2	1.1	0.2	<LDL	0.2	1.2	1.2	0.4
2,3-Dmpentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2,4-Dmpentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-hexane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
3M-hexane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
heptane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2,2,4-Tmpentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2,3,4-Tmpentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-heptane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
3M-heptane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
octane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
nonane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total alkanes	0.4	0.7	1.6	2.8	7.3	4.2	4.9	2.2	0.9	1.3	0.7	1.2	1.0	3.2	1.2	1.0
ethylene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	1.0	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
propylene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1-butene	0.2	<LDL	0.2	0.3	0.2	<LDL	0.3	<LDL	0.3	<LDL	<LDL	0.4	0.2	<LDL	<LDL	<LDL
t-2-butene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
c-2-butene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
isoprene	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
t-2-pentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
c-2-pentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-2-butene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
4M-1-pentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
2M-1-pentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL

(unit: ppb)

Table 1. 계 속

b) 이어도호 측정결과

Canister No.	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16
Date	99/8/8 17:40- 18:56	99/8/9 09:04- 10:04	99/8/9 13:58- 14:53	99/8/9 18:02- 18:57	99/8/10 06:10- 06:55	99/8/10 09:58- 11:05	99/8/10 13:40- 14:39	99/8/10 18:37- 19:29	99/8/10 21:37- 22:32	99/8/10 08:44- 09:43	99/8/12 15:35- 16:34	99/8/13 15:09- 16:09	99/8/14 06:45- 07:45	99/8/14 09:56- 10:50	99/8/14 13:25- 14:21	99/8/14 17:27- 18:24
Sampling time	18:56	10:04	14:53	18:57	06:55	11:05	14:39	19:29	22:32	09:43	16:34	16:09	07:45	10:50	14:21	18:24
1-2-hexene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
c-2-hexene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.5	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.9	<LDL	<LDL	<LDL	1.4	<LDL	<LDL
Total alkenes	0.4	<LDL	0.2	0.3	1.9	0.2	0.3	<LDL	0.3	0.9	<LDL	0.4	0.2	1.5	<LDL	<LDL
acetylene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total alkynes	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
cyclopentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
cyclopentene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
methylcyclopentane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
cyclohexane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
methylcyclohexane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total naphthenes	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Benzene	<LDL	<LDL	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	<LDL	0.1	0.7	0.1	0.1	0.1	0.2	<LDL	0.1
Toluene	0.1	0.1	0.1	0.2	3.2	1.3	0.4	<LDL	0.1	0.2	<LDL	0.1	<LDL	0.2	0.1	<LDL
Ethylbenzene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.3	0.1	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL
m,p-Xylene	0.1	0.1	<LDL	<LDL	1.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	<LDL	0.1	<LDL	0.2	<LDL	<LDL
o-Xylene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.3	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL
Styrene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1,3-trimethylbenzene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1,2,4-trimethylbenzene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.4	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total aromatics	0.2	0.4	0.3	0.4	5.8	1.9	0.9	0.2	0.3	1.2	0.1	0.3	0.2	0.7	0.1	0.1
1,1-dichloroethane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1,2-dichloroethane	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	<LDL	0.1	0.3	<LDL	0.3	<LDL	0.1
Dichloromethane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.5	<LDL	<LDL	1.5	<LDL	0.8	0.2	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Tetrachloroethene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Chloroform	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	0.1	<LDL	0.1	<LDL	<LDL
1,1,1-trichloroethane	0.1	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	0.1	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Carbon Tetrachloride	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	0.1	0.1	<LDL
Trichloroethene	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	0.1	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
1,1,2-trichloroethane	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Vinyl Chloride	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL	<LDL
Total halocarbons	0.2	0.1	0.4	0.3	0.8	0.4	0.2	1.8	0.2	0.9	0.4	0.4	<LDL	0.6	0.1	0.1
Total C2-C9	1.2	1.2	2.5	3.9	16.0	6.8	6.3	4.2	1.6	4.3	1.2	2.3	1.4	6.0	1.5	1.2

동하면서 측정하였을 때, 늦은 오전에 측정한 시료(시료 E14)의 농도가 가장 높고, 이른 오전(시료 E13)과 오후(시료 E15, E16)의 총휘발성유기화합물의 농도가 거의 같은 것에서도 알 수 있다. 특히 농도가 높았던 시료 E14의 경우, 반응성이 강한 방향족화합물과 반응성이 낮은 알칸족 화합물과 염화유기화합물의 농도가 다 같이 높았으나, 오후에 측정한 시료(E15~E16)에는 반응성이 강한 물질 뿐만 아니라, 반응성이 낮은 물질의 농도도 낮아, 반응성이 강한 물질들이 광화학반응으로 제거되어서 낮아진 것이 아니라는 것을 보여주고 있다. 즉, 황해상에서의 휘발성유기화합물의 농도를 결정하는 주요인은 주배출원인 육지에서의 거리인 것으로 보인다.

4. 요약

인천~청도를 왕복하는 컨테이너 여객선 항설란호에서 1999년 6월 12~15일과 10월 23~26일에, 또 한국해양연구소 연구선 이어도호 상에서 1999년 8월 8일~15일에 황해상의 휘발성유기화합물 농도를 정량화하였다. 황해상의 휘발성유기화합물의 농도는 대부분 8 ppb 이하로, 도시지역의 농도에 비해 매우 낮았다. 주성분은 방향족, 염화유기화합물, 탄

소수가 작은 알칸족이었다. 황해상에서의 휘발성유기화합물의 농도는 주배출원인 육지에서의 거리에 의해 좌우되며, 농도의 일변화에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다.

사 사

이 연구는 과학기술부의 황해조사사업의 일부로 수행되었습니다. 선박 측정을 허락하고, 도움을 주신 한국해양연구소와 위동항운 유한공사 여러분께 감사드립니다. 또한, 분석을 해주신 한국과학기술연구원 특성분석센터 여러분께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 나광삼, 김용표, 문길주, 백성욱, 황승만, 김성렬, K. Fung, 이강봉, 박현미 (1998) 대기중 휘발성 유기화합물의 채취 및 분석 방법 비교, 한국대기보전학회지, 14, 507-518.
- 양동범 등 (1998) 황해의 물질균형 및 생지화학적 순환 연구, 제 1단계 연구보고서, 한국해양연구소, 서울.
- US EPA (1997) Deposition of air pollutants to the Great Waters, EPA-453/R-97-011, Research Triangle Park, USA.