

안면도 미세먼지의 수용성 유기탄소 및 알칸계 유기성분 분석

이지이¹⁾ · 김유원²⁾ · 김은실²⁾ · 이선영³⁾ · 이현희³⁾ · 이승묵³⁾ · 권수현⁴⁾ · 김용표^{4)*}

¹⁾조선대학교 환경공학과, ²⁾기상청 기후변화감시센터

³⁾서울대학교 보건대학원, ⁴⁾이화여자대학교 환경공학과

(2011년 11월 22일 투고, 2011년 12월 21일 수정, 2011년 12월 26일 게재확정)

Analysis of Water Soluble Organic Carbon (WSOC) and n-alkanes for the Ambient PM10 in the Anmyon Island

Ji Yi Lee¹⁾ · Yu Won Kim²⁾ · Eun Sil Kim²⁾ · Sun Young Lee³⁾ · Hyunhee Lee³⁾ ·
Seung-Muk Yi³⁾ · Su Hyun Kwon⁴⁾ · Yong Pyo Kim^{4)*}

¹⁾Department of Environmental Engineering, BK21 Team for Biohydrogen Production, Chosun University

²⁾Global Atmosphere Watch station, Korea Meteorological Administration

³⁾Department of environmental health, Seoul National University, Seoul, Korea

⁴⁾Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

(Received 22 November, 2011; Revised 21 December, 2011; Accepted 26 December, 2011)

Abstract

The concentration levels of n-alkanes and water soluble organic carbon (WSOC) at Anmyon, a Global Atmospheric Watch (GAW) station operated by Korea Meteorological Administration (KMA), has been characterized for the PM10 samples collected in 2010. It was found that the concentrations of WSOC at Anmyon were comparable to those in Seoul and lower than those in Gosan, another background area in Korea. However, the maximum concentration of the WSOC at Anmyon was observed in fall while that at Seoul was in winter. It suggests that the emission and/or transformation characteristics at two areas are different. The concentrations of n-alkanes at Anmyon were slightly lower than at Gosan and about one thirds at Seoul. However, it was found that at Gosan the n-alkanes from natural sources were dominant at Gosan. On the other hand, n-alkanes from anthropogenic sources were dominant at Anmyon. Study directions to further understand the characteristics of aerosols at Anmyon are discussed.

Keywords : n-alkanes, WSOC, PM10, Anmyon, anthropogenic.

* Corresponding author.

Tel : 02-3277-2832, Email : yong@ewha.ac.kr

1. 서 론

대기입자는 무기이온 등의 무기성분과 EC(원소상 탄소, elemental carbon)와 OC(유기탄소, organic carbon)로 구분되는 탄소성분(탄소 입자), 그리고 수분으로 구성되어 있다. 무기성분에 관한 연구는 많이 이루어졌으나, 탄소성분에 대해서는 EC와 OC 총 농도에 대한 연구만 주로 진행되었을 뿐, 탄소 성분을 구성하는 1000여종이 넘는 개별 유기성분들의 종류 및 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 탄소 성분은 미세먼지(PM10) 질량 농도의 20-90%를 차지하고 있는 주요 성분이다(Kanakidou et al., 2005). 이들 탄소 성분은 입자 흡습성과 광학특성, 인체 위해성 등 여러 영향에 관여되어 최근 관심이 높아지고 있다. 뿐만 아니라 대기 입자에 존재하는 탄소 성분, 특히 유기 성분은 배출원, 또는 생성원에 따라 그 종류와 농도가 다를 수 있기 때문에, 유기성분 분석은 대기 입자의 주요 기여원의 종류와 그 영향도를 정량화하는데 도움이 된다. 예를 들어, 미세먼지가 (1) 휘발유자동차에서 배출되었는지, 경유자동차에서 배출되었는지, (2) 자동차에서 배출되었는지, 생체소각 과정에서 배출되었는지, (3) 배출된 것인지, 대기 중에서 광화학반응에 의해 생성된 것인지, (4) 국지적인 것인지, 장거리이동에 의한 것인지 구분할 수 있다면 효과적인 미세먼지 저감대책을 수립할 수 있을 것이며, 이는 입자의 유기성분 분석을 통해 어느 정도 가능하다(Lee et al., 2009).

이러한 연구들이 이루어지기 위해서는 대기 입자에 분포하는 유기 성분의 개별 성분 분석이 기본적으로 이루어져야 한다. 하지만, 여러 유기성분은 먼지와 복잡하게 혼합되어있고, 종류가 다양하며, 농도가 낮으므로(ngm^{-3} 또는 pgm^{-3})으로 존재하기 때문에 먼지로부터 유기 성분을 추출, 분석하기 어려운 연구가 제한적으로 진행되어 왔다. 현재 입자내의 100여종의 유기 성분이 동정 및 정량화되어 있다(Zheng et al., 2002). 하지만 이것은 입자에 존재하는 전체 유기성분의 10-40%만이 동정된 것으로 추측되고 있다(Seinfeld and Pandis, 2006). 또한, 국내에서는 PAHs 등 몇 종류의 유해성 유기 성분에 대해서만 동정 및 정량화가 이루어졌고(Lee et al., 2009) 이 분야에 대한 연구는 전무한 실정이다. 현재 보편적인 에어로졸 내 유기성분 분석방법은 유기용매를

이용하여 추출(solvent extraction, SE)한 후가스크로마토그래프-질량분석기(GC-MS)로 분석하는 것이다(Schauer and Cass, 2000; Cheng et al., 2006).

기후변화의 요인이 되는 물질들의 농도 변화를 파악하기 위해 기상청에서는 1987년부터 배경 대기 관측을 시작하였으며, 1998년부터 세계기상기구(WMO)의 지구 대기감시(GAW: Global Atmosphere Watch)에 본격적으로 참여하여 안면도 관측소($36^{\circ} 32'N$; $126^{\circ} 19'E$, 45.7 m ASL)에서 배경대기의 온실가스, 에어로졸, 성층권 오존 등 6개 분야 37개 요소를 관측하고 있다. 이 중 대기의 화학성분을 관측하기 위해서는 1997년부터 습성과 건성 에어로졸의 무기 성분 9종을 관측하고 있으며, 대부분의 연구는 습성 에어로졸의 무기 성분 분석에 집중되어왔다. 또한 ethalometer(AE-31)에 의해 블랙카본의 질량농도를 관측하고 있으나, 유기 성분과 OC/EC에 대한 별도의 관측 및 연구는 현재까지 진행된 바가 없다. 본 연구에서는 안면도 관측소에서 채취한 미세먼지(PM10) 시료에 대해 유기 성분 가운데 노말알칸(n-alkanes)과 수용성 유기 성분(WSOC)의 농도를 분석하여, 기존 다른 연구 결과와 비교, 검토하고, 농도 변화에 영향을 주는 인자를 검토하였다. 이 결과는 국내 배경지역에서의 입자상 유기 성분 분석 결과가 거의 없는 상황에서 우리나라 배경지역의 입자 특성을 이해하는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

2. 실험 및 분석

2.1 시료 채취

본 연구를 위한 PM10시료의 채취는 안면도에 위치한 기상청 기후변화감시센터 옥상(지상 9 m)에서 수행하였다. 시료는 High volume air sampler(Ander-son Inc, GMB2360, U.S.A)에 의해 24시간 동안 채취되었고, 관측 동안 평균 유량은 $1.2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ 이었다. 사용된 필터는 8 inch×10 inch 크기의 Whatman No. 41이다. 여과지에 채취된 에어로졸의 질량농도는 관측전후의 무게 차이와 평균 유량을 이용하여 계산된다. 또한 자료의 유효성을 검증하기 위해 WMO/ GAW 지침에 의거하여 QA/QC(Quality Assurance/ Quality Control) 과정을 거친다(WMO, 2004). 채취일을 표 2에 제시하였다.

Table1. Internal standards used and their target compounds.

Internal Standards	M.W.	Target Compounds
C24-d50	388	Heptadecane (C ₁₅ H ₃₆) to Tetracosane(C ₂₄ H ₅₀)
C30-d62	484	Pentacosane (C ₂₅ H ₅₂) to Hexatriacontane(C ₃₆ H ₇₄)

2.2 시료분석

2.2.1 n-alkane 분석

채취된 여과지를 적당한 크기로 자른 후, dichloromethane/methanol을 3:1 부피 비로 섞은 용매로 2회씩 30분 동안 초음파 추출법으로 추출한다. 시료를 추출하기 전에 각 시료별 n-alkane 성분들의 회수율을 보정해 주기 위하여 정확한 양의 내부표준물질을 주입하였고(C24-d50 2.5 ng uL⁻¹과 C30-d62 2.8 ng uL⁻¹), 추출액의 농축은 풍건식 농축기를 사용하였다. n-alkane 추출용액을 모두 합친 후 주사기 필터(Whatman PVDF, ID 25 mm, pore size 0.45 μm)로 여과하고, 여액을 풍건식 농축기(ZymarkTurboVap 500)에 넣어 질소 가스 정제를 통해 40°C에서 500 mL로 농축하였다.

전처리된 거친 시료의 n-alkane은 Hewlett Packard 5890 GC에 5972 MSD를 결합시킨 GC/MSD를 사용하여 분석하였다. n-alkane 각 성분들의 정성분석은 표준시료(Sigma-Aldrich, 49452-U)을 사용하여 mass spectrum과 GC 크로마토그램의 체류시간(retention time, RT)를 비교, 분석하여 확정하였다. n-alkane 성분들의 정량분석에서는 대상 성분들의 내부표준물질에 대한 감응비율(response factor)을 이용하는 내부표준물질법을 적용(internal standardization)하였다. n-alkane 성분들의 정량분석에 사용된 내부표준물질과 각 물질의 target compound는 Table 1에 정리되어 있다. GC/MS 분석의 운전 조건은 다음과 같다. 초기 온도는 60°C로 1분간 유지된 후 310°C까지 4°C min⁻¹속도로 증가한다. 최종 온도인 310°C에서는 15분간 등온 조건이 유지된다. 헬륨 기체가 운반 기체로서 사용되었다. 시료는 주입구 온도 310°C에서 비분할 모드(splitless mode)로 주입되었다. 질량 분석계는 70eV의 전자기적 충격(EI) 에너지로 가동되었고, 50에서 450 Da(Dalton)까지의 질량 성분에 대해서 측정되었다. 분석 결과는 Chemstation software를 이용하여 얻어졌다. 보고된 결과는 회수율 보정이 이루어졌으나, field blank로는 보정되지 않았다.

2.2.2 수용성 유기 성분(WSOC) 분석

채취한 여과지를 27 cm²(6 cm×4.5 cm) 크기로 일정하게 자른 후, 50 mL vial에 넣고 30 mL 3차 증류수를 주입한 후 0°C에서 30분 동안 초음파 추출하였다. 초음파 추출 후 부유물질을 제거하기 위하여 2.0 μm pore size의 syringe filter(PALL science)를 이용하여 추출액을 여과하였다. 물에 완전히 녹아 나오지 않은 WSOC 성분을 추출하기 위해 이미 추출한 필터에 다시 30 mL 3차 증류수를 넣고 같은 방법으로 30분 동안 추출하여 최종농도에 합산하였다.

WSOC분석은 검출한계가 4 μg L⁻¹인 TOC-V_{CPH}(total organic carbon, Shimadzu) 유기탄소분석기를 사용하여 분석하였고, TC(total carbon)와 IC(inorganic carbon)를 각각 분석 후 총 유기탄소를 정량하였다. TC-IC 방법은 수용성 탄소와 무기 수용성 탄소의 차이에 의해서 계산되는 것으로 탄산염 및 중탄산염 등으로 이루어진 무기 수용성 탄소는 염산으로 산성화시켜 발생한 이산화탄소를 질소가스에 의해 휘발시킨 후 비분산 적외선(NDIR) 검출기에 의해 정량한다. TC 표준용액 물질은 potassium hydrogen phthalate(Shimadzu), IC 표준용액 물질은 sodium carbonate와 sodium bicarbonate(Fisher)로 1000 mg L⁻¹농도의 stock을 만들어서 희석시켜 사용하였다.

3. 결과

3.1 수용성 유기 성분(WSOC) 농도

안면도에서 관측한 총 26개의 PM10 시료들 중 24개를 분석하여 얻은 WSOC평균 농도는 4.65±2.18 μgC m⁻³이었다. 안면도에서의 WSOC 농도의 계절별 분포를 살펴보면, 가을에 가장 높은 농도(7.08±2.27 μgC m⁻³)를 보였고, 다른 계절들은 비슷한 농도 수준을 나타냈다(그림 1). 본 연구에서 관측된 안면도의 WSOC 농도수준은 국내 대표적인 도심지역인 서울

(평균농도: $4.35 \pm 2.76 \mu\text{gC m}^{-3}$, 범위: $0.87\text{-}11.53 \mu\text{gC m}^{-3}$)(Lee et al., in preparation)과 비슷한 수준이었고, 광주지역의 WSOC 농도($3.22 \mu\text{gCm}^{-3}$) (Park and Cho, 2011)보다 높았다. 또한, 그림 1에서 보듯이 본 연구에서 관측된 WSOC 농도는 동북아시아 지역의 대표적 도심지역들인 홍콩과 일본의 WSOC 농도보다 높은 값을 보였고, 북경과 비슷한 농도수준을 나타냈다. 국내 대표적 배정농도지역인 고산에서 봄철에 측정된 WSOC 농도는 $1.26 \mu\text{gC m}^{-3}$ 로, 안면도의 봄철 평균 농도($4.10 \pm 2.07 \mu\text{gC m}^{-3}$)에 비해 1/3의 수준을 보였다. 일본 청정지역인 삿포르에서 봄철에 측정된 WSOC 농도는 안면도의 봄철 WSOC 농도와 비슷한 수준을 보였다.

측정지역별로 계절별 WSOC 농도 특성을 살펴보면, 도심지역들에서의 WSOC 농도는 일본 도쿄를 제외하고는 대체로 겨울에 가장 높은 농도수준을 보였고, 이는 겨울철 난방 연료로써의 석탄 연료와 목재 연소, 가솔린 운송수단의 기여도 증가로 설명하고 있다(Wang et al., 2009). 반면, 안면도에서는 도심지역들과는 달리, 가을철에 WSOC 농도가 높았다. 이는 안면도의 WSOC의 주요 배출 또는 생성요인이 국내 및 동북아시아 지역의 도심지역에서의 WSOC 주요 배출원 또는 생성과정이 다를 수 있음을 의미한다. 본 연구에서 제시한 WSOC 분석 자료만으로는 가을철 안면도에서 WSOC의 농도가 높은 원인을 파악하는 데에는 한계가 있다. 따라서, WSOC를 구성하는 성분들(dicarboxylic acid 성분들 및 sugar 성분들)의 분석 결과가 추가되면 배출원 및 생성 과정

차이에 대한 보다 자세한 검토가 가능할 것이다.

3.2 n-alkanes 농도

안면도에서 측정된 PM10 시료들에서는 시료들마다 검출된 alkane 성분들의 탄소 분포가 달랐지만, 본 연구에서 사용한 GC-MS의 운영조건에서는 alkane 성분 C15에서C37성분들이 검출되었다. 하지만, alkane 성분들이 검출된 PM10 시료들에서는 대체로 C17에서 C35까지의 alkane 성분들에 대한 안정적인 GC chromatogram을 확보할 수 있었기 때문에, 본 연구결과에서 제시하는 alkane 농도는 C17-C35 성분들에 대한 농도들만을 취급할 것이다.

안면도에서 관측한 총 26개의 PM10 시료들 중 20개를 분석하여 얻은 alkanes(C17-C35)의 평균 농도는 $23.7 \pm 4.02 \text{ ng m}^{-3}$ 이었다. Alkanes의 계절별 농도분포는 WSOC 농도의 계절분포와는 다르게 사계절 모두 비슷한 농도수준을 보였다(봄: $24.2 \pm 3.52 \text{ ng m}^{-3}$, 여름: $21.4 \pm 3.71 \text{ ng m}^{-3}$, 가을: $25.1 \pm 4.93 \text{ ng m}^{-3}$, 겨울: $27.6 \pm 3.95 \text{ ng m}^{-3}$). 안면도에서의 alkanes의 봄철 평균농도(C17-C35: $24.2 \pm 3.52 \text{ ng m}^{-3}$)는 제주도 고산 지역에서 관측된 봄철 평균농도(C19-C36: $32 \pm 3 \text{ ng m}^{-3}$)(Wangetal., 2009), C18-C36: $45.7 \pm 47.5 \text{ ng m}^{-3}$ (Simoneitetal., 2004)에 비해서는 약 10 ng m^{-3} 정도 낮았다.

반면 도시 지역인 서울에서 관측된 봄철 샘플에 대한 alkane(C17-C34) 평균 농도는 $66.87 \pm 27.01 \text{ ng m}^{-3}$ 으로 안면도보다 약 3배 가량 높은 평균 농도를 보였고 농도의 일변화 폭도 훨씬 크다(Kwon et al., 2011). 국외 도시 지역의 경우를 살펴보면, 중국 Baoji 지역에서 측정된 2008년 PM10 시료의 alkane 농도는 겨울철 $232\text{-}3583 \text{ ng m}^{-3}$ (평균: 1733 ng m^{-3}), 봄철 $124\text{-}1160 \text{ ng m}^{-3}$ (평균: 449 ng m^{-3})으로 우리나라보다 훨씬 높은 수준이다(Xie et al., 2009). 한편, 일본 삿포르의 경우 5개 측정소에서 ACE-Asia campaign동안 측정된 alkane의 평균 농도는 $52.41 \pm 27.66 \text{ ng m}^{-3}$ (C18-C37)으로 서울보다는 낮은 농도를 보이지만 안면도보다는 약 2배 가량의 높은 농도를 보인다(Simoneit et al., 2004).

안면도에서 n-alkanes의 농도가 서울 및 중국 도심 지역보다 낮은 이유는 이차생성이 주 생성요인인 WSOC와는 달리 안면도 부근에서는 n-alkane 성분들의 농도를 결정하는 일차 배출의 영향이 상대적으로

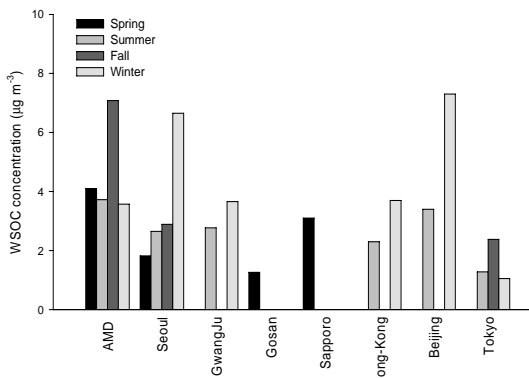


Fig. 1. Comparison of WSOC concentration in this study with other measurements. AMD stands for Anmyon site.

로 적기 때문으로 판단된다. 우리나라 대표 청정지역인 고산에 비해서도 농도 수준이 낮은 이유로는 고산에서 관측된 결과(Simoneit et al., 2004)는 봄철에 집중적으로 측정된 결과인 반면에, 본 연구에서 제시한 농도는 1년동안 채취한 시료들의 평균 농도이기 때문에 예상되어지지만, 보다 정확한 결론을 도출하기 위해서는 추후 안면도와 더불어 고산에서의 상시 측정된 n-alkane 성분들의 농도 분석이 이루어져야 한다고 판단된다.

안면도 봄철 alkane 성분들의 탄소분포형태를

2005년 봄철 고산에서 관측된 alkane 성분들과 비교해보면(그림 2), 탄소개수별 농도분포형태가 확연히 다를 수 있다. 안면도의 경우, 각 alkane 성분들의 농도는 탄소개수가 증가할수록 일정하게 증가하고, 그 중 C20과 C24, C29과C31 농도가 조금 증가하는 패턴을 보였다. 반면, 고산에서는 탄소개수별 농도 차이가 심하게 나타났고, 그 중 C27과 C29, C31의 농도가 높게 측정되었다. 이 성분들의 농도가 높은 이유는 주변의 식물체들에서 배출되기 때문으로 해석된다(Wang et al., 2009). 2007년 봄철 서울에서

Table 2. Concentrations of n-alkane and WSOC in the Anmyon samples.

Date	Alkane (ng m ⁻³)	WSOC (μgC m ⁻³)
2010. 01. 25	19.97	2.51
2010. 01. 28	22.06	2.99
2010. 03. 12	22.52	3.35
2010. 03. 15	23.12	4.02
2010. 03. 20	23.71	3.07
2010. 03. 23	N.A. ^a	3.09
2010. 04. 20	N.D. ^b	3.70
2010. 04. 22	19.54	N.A.
2010. 04. 25	26.96	3.25
2010. 05. 19	29.52	3.15
2010. 05. 26	N.A.	9.14
2010. 06. 03	19.81	3.61
2010. 06. 17	26.93	N.A.
2010. 07. 07	N.A.	4.24
2010. 07. 14	N.A.	3.03
2010. 08. 04	20.01	4.08
2010. 08. 19	18.93	3.66
2010. 09. 07	22.21	7.56
2010. 09. 15	22.87	6.39
2010. 10. 21	25.81	7.56
2010. 10. 28	24.16	5.27
2010. 11. 03	20.88	4.64
2010. 11. 30	34.54	11.03
2010. 12. 06	N.A.	2.95
2010. 12. 10	N.A.	4.92
2010. 12. 22	27.61	4.49
Average ± standard deviation	23.7±4.02 ng m ⁻³	4.65±2.18 μgC m ⁻³

^aN.A.: not analyzed.

^bN.D.: not detected.

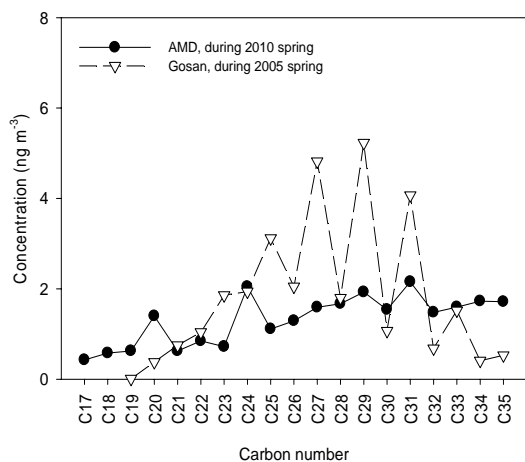


Fig. 2. Distribution of individual alkane compound concentrations measured at Anmyonin spring 2010 and Gosan in spring 2005.

관측된 alkane 성분들의 탄소분포형태도 고산과 비슷한 형태를 보인다.

n-alkane의 경우 탄소개수별 농도분포와 CPI(carbon preference index)에 따라서 주 배출원을 구명할 수 있다. CPI는 홀수 대 짝수 탄소개수 alkane의 농도 비로 정의되며, 유기 에어로졸에 생물(biogenic) 기원과 인위적(anthropogenic) 기원의 기여 정도를 평가하는데 사용된다(Simoneit, 1999). 예를 들어, 식물체 배출로부터 발생된 alkane은 대부분 높은 탄소개수(C25-C36)와 높은 CPI 값을 가지고, 화석연료 연소나 다른 인위적인 활동으로 인해 발생된 alkane의 경우 비교적 작은 탄소개수(C19-C24)를 가지며 1에 가까운 CPI 값을 보이는 것으로 알려져 있다(Jürgen et al., 2007; Wang et al., 2009). 따라서 생물 기원의 영향이 큰 배경지역의 경우 보통 2.0 이상의 CPI를, 인위적 기원의 영향이 큰 도심지역의 경우 보통 1.1 과 2.0 사이의 CPI 값을 가진다(Brown et al., 2002). 또 계절별로는 여름에 생물 활동이 활발하기 때문에 생물적 기원 alkane의 농도 증가로 여름철 alkane은 높은 CPI 값을 보이고, 반대로 겨울에는 화석연료 사용의 증가로 인위적 기원의 alkane이 우세해 겨울철 alkane은 낮은 CPI 값을 보인다(Wang, 2011). 중국과 같은 국외 도심지역의 경우- 특히나 겨울철 시료에 대해서- alkane은 1.0에 가까운 CPI 값을 보인다(Xie et al., 2009; Wang, 2011). 반면에 일본 산

뎠로와 같은 청정지역에서는 1.2-6.0 범위의 높은 CPI 값이 보고된 바 있다(Simoneit et al., 2004).

봄철 고산의 경우 2.0 이상의 높은 CPI 값을 보이는 반면, 안면도는 서울보다도 낮은 1에 가까운 CPI 값(1.03±0.19)을 보인다(표 3). 안면도 시료에서 저분자량 alkane(C19-C24)의 CPI는 0.70±0.22, 고분자량 alkane(C25-C34)의 CPI는 1.17±0.20로 각각 계산되었다. 안면도의 낮은 CPI 값과 plant wax alkane 농도는 배경지역임에도 불구하고 안면도의 alkane농도에 인위적인 기원의 기여가 큼을 시사한다. 따라서 안면도에서는 식물체의 배출에 의한 영향은 작을 것으로 판단되고, 안면도와 고산지역 대기에서 n-alkane 농도를 결정짓는 주요 원인이 다름을 알 수 있다.

4. 요약

우리나라의 대표적인 배경지역 측정소인 안면도의 지구배경관측소에서 20010년에 채취한 미세먼지(PM10) 시료에 대해 n-alkane과 수용성 유기성분(WSOC) 농도를 분석하였다. 우리나라의 또 다른 배경지역인 고산에 비해 봄철의 수용성 유기성분의 농도는 세배 정도 높았다. 안면관측소의 수용성 유기성분의 농도는 서울이나 아시아 다른 도시지역의 농도와 비슷한 수준이었다. 그러나 아시아 도시는 겨울에 농도가 높았으나, 안면관측소는 가을에 높아 배출원, 또는 생성원이 다른 것으로 보인다.

한편 n-alkane 성분의 농도는 안면관측소가 고산보다 약간 낮았고, 서울 등의 아시아 도시의 1/3-1/2 수준으로 낮았다. 그러나 고산은 자연적인 기원의 n-alkane 농도가 높은 반면에 안면관측소는 인위적인 n-alkane이 대부분이어서 대조를 보이고 있다.

따라서 안면관측소는 우리나라의 대표적인 배경지역임에도 불구하고 수용성 유기성분과 n-alkanes 농도측면에서는 배경지역과 도심지역의 특성을 갖고 있어, 인위적인 영향을 많이 받고 있는 것으로 보인다. 보다 상세한 배출원과 생성원 분석은 무기이온농도와 다른 유기성분 분석을 추가하여 이루어질 예정이다.

Table 3. Comparison of CPI values for n-alkanes and the concentrations of plant wax alkanes.

Compounds	Anmyon (This study)	Gosan (Wang et al., 2009)	Seoul (Kwon et al., 2011)
n-Alkanes			
CPI ^a	1.03±0.19 (C19-C34)	2.6±0.6 (C19-C36)	1.82±0.23 (C19-C34)
CPI ₁ ^b	0.70±0.22 (C19-C24)	0.9±0.4 (C19-C24)	0.76±0.06 (C19-C24)
CPI ₂ ^c	1.17±0.20 (C25-C34)	3.8±1.3 (C25-C36)	2.36±0.30 (C25-C34)
Plant wax alkanes ^d (ngm ⁻³)			
Tricosane (C ₂₃ H ₄₈)	0.00	0.37	0.45
Pentacosane (C ₂₅ H ₅₂)	0.04	1.13	4.42
Heptacosane (C ₂₇ H ₅₆)	0.32	2.90	5.53
Nonacosane (C ₂₉ H ₆₀)	0.79	3.80	2.93
Hentriacontane (C ₃₁ H ₆₄)	0.76	3.20	4.34
Trtriacontane (C ₃₃ H ₆₈)	0.09	0.98	3.02
Total	1.99	12.36	20.69

^aCPI, carbon preference index: calculated as $\sum(C_{\text{odd}})/\sum(C_{\text{even}})$, e.g. $\text{CPI}=(C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})/(C_{20}+C_{22}+C_{24}+C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}+C_{34})$ for Anmyonsamples

^bCPI₁: CPI for LMW alkanes

^cCPI₂: CPI for HMW alkanes

^dPlant wax alkanes are calculated as $C_n=C_n-(C_{n-1}+C_{n+1})/2$ (Simone et al., 1991)

사사

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS_2010-3006)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Brown S. G., Herckes, P., Ashbaugh, L., Hannigan, M. P., Kreidenweis, S. M., Collett, J. L. (2002) Characterization of organic aerosol in Big Bend National Park, Texas, Atmospheric Environment, 36, 5807-5818.
- Cheng, Y., Li, S. M. and Leithead, A. (2006) Chemical characteristics and origins of nitrogen-containing organic compounds in PM_{2.5} aerosols in the Lower Fraser Valley. Environmental Science and Technology, 40, 5846-5852.
- Jürgen, S.-K., Martin, S., Jürgen, O., Matthias, S., Annette, P., Ralf, Z. (2007) Semi Volatile Organic Compounds in Ambient PM_{2.5} • Seasonal Trends and Daily Resolved Source Contributions, Environmental Science and Technology, 41 (11), 3821-3828.
- Kanakidou, M., Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., Barnes, I., Dentener, F. J., Facchini, M. C., Van Dingenen, R., Ervens, B., Nenes, A., Nielsen, C. J., Swietlicki, E., Putaud, J. P., Balkanski, Y., Fuzzi, S., Horth, J., Moortgat, G. K., Winterhalter, R., Myhre, C. E. L., Tsigaridis, K., Vignati, E., Stephanou, E. G. and Wilson, J. (2005) Organic aerosol and global climate modelling: A review. Atmospheric Chemistry and Physics, 5, 1053-1123.
- Kwon, S. H., Kim, Y. P. and Lee, J. Y. (2011) Impact of the dust storm on the ambient aerosol organic composition in Seoul, Korea, submitted.
- Lee, J. Y., Lane, D. A., Huh, J.-B., Yi, S.-M. and Kim,

- Y. P. (2009) Analysis of organic compounds in ambient PM_{2.5} over Seoul using thermal desorption-comprehensive two dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry (TD-GC×GC-TOFMS). *Journal of Korean Association Atmospheric Environment*, 25, 420-431.
- Park, S.S., Cho, S.Y. (2011) Tracking sources and behaviors of water-soluble organic carbon in fine particulate matter measured at an urban site in Korea. *Atmospheric Environment* 45, 60-72.
- Schauer, J. J. and Cass, G. R. (2000) Source apportionment of wintertime gas-phase and particle-phase air pollutants using organic compounds as tracers. *Environmental Science and Technology*, 34, 1821-1832.
- Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (2006) *Atmospheric chemistry and physics; from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, NJ, USA.
- Simoneit, B. R. T. (1999) A review of biomarker compounds as source indicators and tracers for air pollution, *Environmental Science and Pollution Research*, 6, 159-169.
- Simoneit, B. R. T., Kobayashi, M., Mochida, M., Kawamura, K., Lee, M., Lim, H.-J., Turpin, B. J., Komazaki, Y. (2004) Composition and major sources of organic compounds of aerosol particulate matter sampled during the ACE-Asia campaign, *J. Geophys. Res.*, 109, D19S10.
- Wang, G., Kawamura, K., Lee, M. (2009) Comparison of organic compositions in dust storm and normal aerosol samples collected at Gosan, Jeju Island, during spring 2005, *Atmospheric Environment*, 43, 219-227.
- Wang, G. (2011) Organic aerosols in East Asia and their impact on the downstream atmosphere: a review, *Journal of Earth Environment*, 2(3), 467-478.
- World Meteorological Organization (2004) *Manual for the GAW precipitation chemistry programme: Guidelines, data quality objectives and standard operating procedures*, GAW Report, 160, 1-170
- Xie, M., Wang, G., Hu, S., Han, Q., Xu, Y., Gao, Z. (2009) Aliphatic alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric PM₁₀ aerosols from Baoji, China: Implications for coal burning, *Atmospheric Research*, 93(4), 840-848.
- Zheng, M., Cass, G. R., Schauer, J. J. and Edgerton, E. S. (2002) Source apportionment of PM_{2.5} in the southeastern United States using solvent-extractable organic compounds as tracers. *Environmental Science and Technology*, 36, 2361-2371.