

제주지역 주요 침엽수에서 배출되는 VOCs 배출특성

김형철 · 이기호^{1)*}

제주특별자치도 환경자원연구원, ¹⁾제주대학교 환경공학과
(2010년 3월 21일 접수; 2010년 5월 11일 수정; 2010년 5월 17일 채택)

A study on Emission Rates of VOCs from Conifers at Jeju Island

Hyeong-Cheol Kim, Ki-Ho Lee^{1)*}

Institute of Environmental Resource Research, Jeju Special Self-Governing Province, Jeju 690-815, Korea

¹⁾Department of Environmental Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

(Manuscript received 21 March, 2010; revised 11 May, 2010; accepted 17 May, 2010)

Abstract

Emission rate of monoterpene and isoprene was measured in five commonly growing tree species of conifers(*Pinus thunbergii*, *Abies koreana*, *Cryptomeria japonica*, *Pinus densiflora*, *Chamaecyparis obtusa*) at the Halla mountain sites. Dynamic flow enclosure technique was used and gas samples were collected into Tenax tube. The highest and lowest hourly emission rate was observed in *Abies koreana* (1.86 $\mu\text{g}/\text{gdw}/\text{hr}$) and *Chamaecyparis obtusa* (0.52 $\mu\text{g}/\text{gdw}/\text{hr}$), respectively. The major species of monoterpene from pine trees were α -pinene, β -pinene, β -phellandrene, myrcene. Particularly, d-limonene was abundant in *Abies koreana* but α -pinene, d³-carene and sabinene was in *Cryptomeria japonica*. Emission rates of isoprene show less significant than those of monoterpene. And also seasonal emission rates of monoterpene were dependent on environmental factors such as temperature.

Key Words : BVOCs, Emission rate, Monoterpene, Isoprene, Conifer

1. 서론

자연에서 배출되는 휘발성 유기화합물의 총량은 지구 전체로 1,150 Tg-C/yr 정도로 추정하고 있으며, 이중 821 Tg-C/yr이 식물에서 배출하는 것으로 보고 되고 있고 자연에서의 배출총량은 인위적인 배출량보다 7배 이상 많은 것으로 추정하고 있다(Guenther 등, 1994; Guenther 등, 1995). 우리나라에서는 자연식생에서 배출되는 휘발성유기화합물은 총 431천 톤/년으

로 인위적인 배출량 723천 톤/년의 약 40% 정도가 배출되는 것으로 추정하고 있다(국립환경연구원, 2005; 조 등, 2006).

제주도는 육지의 도시지역과는 달리 인위적인 휘발성 유기화합물(Anthropogenic Volatile Organic Compounds: AVOCs)의 배출원은 미미하지만 주변에 산림지역이 많기 때문에 수목에서 배출되는 휘발성 유기화합물(Biogenic Volatile Organic Compounds: BVOCs)은 인위적인 휘발성 유기화합물보다는 상대적으로 많을 것으로 예상된다. 따라서 통상적으로 산림이 거의 없는 대도시 지역에서는 휘발성 유기화합물의 대기 중 농도가 인위적인 배출에 의해서 영향을 절대적으로 받게지만, 제주도의 대기환경에서는 AVOCs보다는

*Corresponding Author : Ki-Ho Lee, Department of Environmental Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea
Phone: +82-64-754-3445
E-mail: leekiho@cheju.ac.kr

BVOCs의 역할이 상대적으로 보다 중요할 것으로 판단된다.

이러한 BVOCs는 삼림욕 물질로서 인체에는 유익한 물질로 알려졌지만(김 등, 1998; 나, 1998; 이 등, 2003) 대기화학적 측면에서 보면 유기 에어로졸의 생성(SOA; Secondary Organic Aerosol), 산성비 원인물질의 하나인 유기산의 생성, 지구 온실 가스(carbonyl-알데히드류, 케톤류 등), 특히 오존의 전구물질로서 대기 중 광화학 반응에 의한 오존 증가 등 부정적인 측면도 있다(Arey 등, 1991; Geron 등, 2002; Kesselmeier 등, 2000; Pier, 1995).

우리나라에서도 2000년 초반부터 식물에서의 휘발성 유기화합물의 배출속도에 관한 연구들이 일부 수행되었으나 대부분이 육지부 내륙의 식생을 대상으로 수행된 연구 사례들로서(김 등, 2005; 김 등, 2004a; 김 등, 2004b; 지 등, 2002) 섬 지역에서의 배출특성과 고유 수종의 특성을 반영한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 우리나라의 BVOCs 배출 총량을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 지역에 분포하고 있는 식생 종류별로 배출속도를 측정하는 것이 필수적이며 또한 섬 지역의 특성을 반영한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 제주지역의 침엽수를 대표하는 곰솔(*Pinus thunbergii* Parl.)과 구상나무(*Abies koreana* Wilson)를 포함하여 삼나무(*Cryptomeria japonica*(L. f.) D. Don), 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 편백나무(*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.) 등 5 수종을 각각 선정하여 이들 수목에서 배출되는 monoterpenes와 isoprene을 측정하여 BVOCs의 계절별 및 시간대별 배출 특성을 연구하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에서는 분석을 위해 수목잎의 휘발성 유기화합물의 배출속도 측정 chamber인 dynamic flow through chamber를 제작하여 사용했는데, 이 chamber는 나무에서 휘발성 유기화합물 시료를 직접 채취할 때에 시료의 변질 또는 손실의 방지는 물론이고 기온, 습도, Photosynthetically Active Radiation(PAR) 등과 같은 외부 환경이 chamber내에서도 잘 재현되도록

충분히 고려하여 제작하였다.

chamber는 두께 10 mm의 원통형(50 cm×20 cm)의 투명 아크릴로 제작되었으며, chamber 내부는 teflon으로 코팅처리 하였다. chamber 내에서 기체들의 혼합을 촉진하고 빠른 정상상태 유지를 위해 팬을 설치하였으며 팬에 의한 오염 및 휘발성물질 손실 최소화를 위해 fan 표면에 teflon 코팅처리를 하였다. 이 chamber는 견고할 뿐 아니라 광합성 유효광의 투과율이 95%의 이상이었다. chamber로 유입되는 제로 공기 및 BVOCs 시료 유출량을 정확하게 유지하기 위해 공기 유입부 전단에 순간유량계(Dwyer RMA 26SSV, USA) 및 MFC(Mass Flow Controller: KOFLOC 8500MC, Japan)를 설치하고 chamber 출구에는 공기 펌프(Sibata MP-300, Japan)를 설치하여 유입되는 공기량과 동일한 유량으로 흡입시켜줌으로써 chamber 내의 유량을 평형으로 유지하였다. BVOC 채취는 샘플러(Sibata MP-30, Japan)를 장착하여 외부 공기 유입이나 시료의 외부 누출에 따른 손실이 없도록 하였다.

잎가지는 지상으로부터 약 2 m~5 m 높이에 위치하므로 이들 잎가지를 대상으로 VOCs 시료를 채취하기 위해 상하높이 조절이 가능한 시료 채취용 chamber 거치대를 별도로 제작하였다(Fig. 1).

Chamber의 시료 채취 시점을 결정하기 위해 장비 감응도가 빠른 일산화탄소 가스를 이용하여 여러 가지 유량조건에서 정상상태(steady state) 실험을 수행한 결과 2 l/min가 현장에서의 시료 채취시간 및 연속 시료 채취 등을 고려할 때 가장 효과적인 것으로 나타났다.

Chamber의 회수율을 테스트 한 결과 isoprene이 평균 95.8%, monoterpene 평균 97.2%의 양호한 회수율을 보였다. Chamber를 이용하여 잎가지에서 BVOCs의 정확한 채취를 위해서는 앞에서 발생하는 isoprene과 monoterpene의 배출속도에 대한 주요 요소로서 채취 외부 환경, 특히 기온, 습도, 이산화탄소 등을 chamber내에서 최대한 반영하는 것이 필요하며 본 연구의 chamber는 이러한 요소들을 가능한 반영할 수 있는 실용적인 chamber의 특징을 가지고 있다. 증류수를 채운 임핀저를 이용해서 습도를 조절하였고, 이산화탄소는 질소 79%, 산소 21%를 기준으로 외부 이

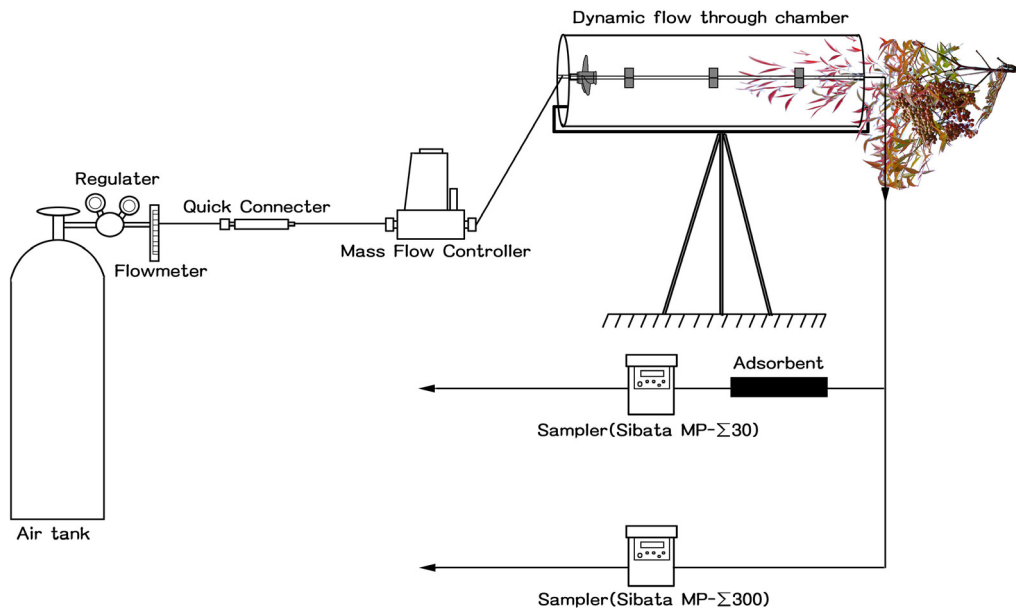


Fig. 1. Schematic diagram for sampling of BVOCs components.

산화탄소 농도와 유사한 농도(380~390 ppm)로 표준 가스 제조업체에 의뢰 및 조제하여 사용하였다. 수목에서 BVOCs 시료 채취의 적절한 위치를 통해 chamber의 온도는 외부 온도와 유사한 수준을 보였다.

2.2. 수종 선정 및 채취 위치

제주도의 산림 분포는 내륙지역과 아주 다른 식생 분포를 보이고 있기 때문에 침엽수에서 발생하는 생물기원 휘발성유기물질(BVOCs) 배출속도를 조사하기 위해서는 제주도의 식생 특성을 고려하여 연구 대상 수종을 선정했다. 연구 대상 수종은 제주도 지역에서 침엽수 중 식재면적이 가장 많은 곰솔(*Pinus thunbergii* Parl.), 한라산 고산지대의 특산종인 구상나무(*Abies koreana* Wilson)와 외래종이면서 정착하여 산림을 이루고 있는 삼나무(*Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don), 편백나무(*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.), 육지부 내륙의 대표 침엽수종이면서 곰솔과 동일 속인 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)를 선정하였다.

시료채취는 2007년 6월부터 2008년 12월까지 한라산 국립공원 인근지역인 한라생태숲을 중심으로 인

근 침엽수 산림지역에서 수종별 나뭇잎 시료에서 BVOCs를 채취하였다.

수목의 BVOCs 배출량은 모든 잎에서 배출되는 총량을 의미하지만 현실적으로 모든 잎을 대상으로 채취 및 분석이 불가능하므로 수목의 BVOCs 배출속도를 대표할 수 있는 채취지점을 선정할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하는 방법으로서 수관층 내 가능한 대표적인 휘발성 물질 채취 지점을 찾는 방법을 선택하였다. Guenther 등(1994)이 제안한 Simple Canopy 모델의 수목 5개층 중에서 잎생체량의 중심인 3층의 수관층을 선정하였다. 3층의 수관층에서 monoterpene과 isoprene의 배출속도 실측값, 잎생체량과 광합성 유효광 투과율을 종합적으로 분석한 결과, 수관 외각에서 20~40 cm의 지점이 BVOCs 채취지점로서 대표성을 갖는 것으로 나타났다.

2.3. 채취방법

Chamber는 시료 채취 전에 먼저 알콜과 증류수로 세척하여 건조시킨 후 현장에서 적절한 위치를 확보한 후 거치대에 설치하여 사용하였다. 잎 온도 센서, chamber 내부 온도계와 fan을 가동시킨다. Chamber

전면에 정제된 공기통를 연결하고 MFC를 통해 일정량(2 l/min)씩 유입시키고 후면에서는 공기펌프를 이용하여 동일한 유량(2 l/min)으로 지속적으로 흡입하였다. 30분간 흡입시키면서 chamber 내부를 정상 상태로 유지시킨 후 샘플러(Sibata MP-30, Japan)를 이용하여 100 m l/min 유량으로 시료 공기를 30분간 흡착관에 채취하였다. 본 연구에서 사용한 흡착관으로는 monoterpene의 채취를 위해서는 C₇~C₂₆까지 물질을 선택적으로 흡착하는 300 mg Tenax TA(60/80 mesh, Supelco, USA)을 사용하였고 isoprene 채취를 위해서 C₄~C₂₆까지 선택적으로 흡착하는 300 mg Carbotrap 300(60/80 mesh, Supelco, USA)을 이용하였다. 흡착트랩의 성능시험을 수행한 결과 α -pinene은 95.9%(RSD 1.6%), β -pinene은 95.4% (RSD 1.4%), isoprene은 95.8% (RSD 1.3%) 회수율을 얻었다. 흡착트랩의 안정화(conditioning)를 위해 흡착관의 안정화는 ATC-07(KNR(주), KOR)을 이용하여 2시간 동안 50ml/min 이상의 질소가스로 세척시켰으며, 사용 전에 흡착관 안정화 상태를 확인하기 위하여 공시험(blank test)을 거쳤다. 침엽수에서 채취된 잎시료는 냉장 보관하여 실험실로 이동하여 건조량을 측정하였다. 그리고 실험실로 운반된 흡착관은 24시간 이내에 12종의 monoterpene류 및 isoprene 분석이 이루어졌다.

2.4. 분석방법

시료 채취가 완료된 흡착관은 현장에서 저온 냉장(4°C) 보관하여 실험실로 운반하였다. 분석과정은 자동 열탈착장치(PERKIN ELMER, TurboMatrix ATD, USA)를 이용하여 295°C에서 40 ml/min 유량으로 10분간 탈착되어 -30°C로 유지되는 cold trap에 농축되고 다시 310°C까지 급속 가열하여 탈착시키고 205°C transfer line을 통해 GC/MS Injection valve(195°C)로 주입된다. GC/MS용 Column으로는 Elite 1(60 m×0.25 mm, 1 μ m)사용되었다. 액상표준액 기화 장치인 ATIS(Adsorbent Tube Injector System, Supelco, USA)를 이용하여 표준가스를 조제하였다.

정성 및 정량분석 모두 GC/MS(PERKIN ELMER, Clarus 500, USA)를 이용하였으며, 정성분석은 scan mode에서 NIST(National Institute of standard and Technology) Library를 이용하여 채취된 VOCs의 정

성분석에 이용하였다. 정량분석을 위해서는 sim mode(selection monitoring mode)방식 채택과 외부표준법(external standard method)을 이용하여 주입된 양과 피크 면적과의 검량선을 이용하였으며 각 BVOCs 성분의 검량선에서 결정계수(r^2)값이 0.98이상으로 나타났다. BVOCs 시료의 검출한계를 계산하기 위해 MDL(Method Detection Limit) 방법을 사용하였다. MDL은 signal 대 noise(S/N)의 값을 고려하였으며 S/N비가 3배가 되는 농도기준으로 7회 반복 분석한 농도에 대한 표준편차를 이용하여 MDL를 구한 결과 0.5~1 ng(n=7)로 추정되었으며, 이 값을 현장의 시료채취 유량(3 l)을 고려하면 약 16~63 pptv 수준인 것으로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 침엽수의 monoterpene 및 isoprene 배출속도 비교

Fig. 2는 수종별(삼나무, 구상나무, 곰솔, 편백나무, 소나무)로 monoterpene의 계절별 배출속도를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 보면 침엽수 중에서 구상나무의 배출속도 평균이 1.24 μ g/gdw/hr로서 삼나무(0.61 μ g/gdw/hr), 곰솔(0.69 μ g/gdw/hr), 편백나무(0.29 μ g/gdw/hr), 소나무(0.72 μ g/gdw/hr)보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 값은 측정당시 침엽수의 실측 monoterpene 배출속도로서 이것을 표준상태(30°C)로 표준화 하면 구상나무의 배출속도는 1.86 μ g/gdw/hr, 삼나무(1.22 μ g/gdw/hr), 곰솔(1.34 μ g/gdw/hr), 편백나무(0.52 μ g/gdw/hr), 소나무(1.78 μ g/gdw/hr)로 계산되어 구상나무>소나무>곰솔>삼나무>편백나무순으로 배출속도 순위를 보였다. 동일 속인 소나무와 곰솔의 배출속도 차이를 보이는 것은 서식하는 토양과 기후 및 수목 자체의 정유성분 차이로 추정된다. 또한 구상나무가 침엽수 중 배출속도가 가장 많이 배출하는 것은 수목에 함유된 정유성분이 타 침엽수들보다 풍부하기 때문인 것으로 추정된다(강, 2001; 김 등, 2004b; Guenther 등, 1994; Lamb 등, 1987).

Fig. 3은 침엽수종별(삼나무, 구상나무, 곰솔, 편백나무, 소나무)로 isoprene의 배출속도를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보면 침엽수에서의 isoprene 배출속도는 조사대상 수종별로 큰 차이를 보이지는 않았으며

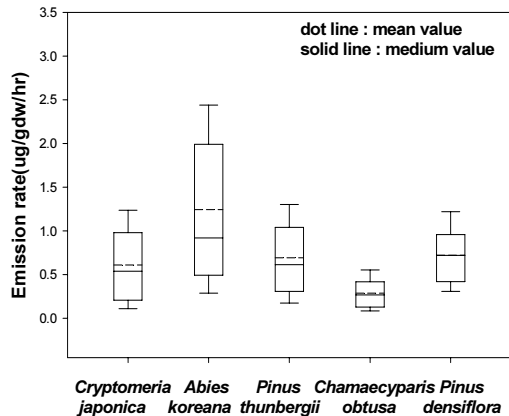


Fig. 2. Emission rates of monoterpene in different conifers during the period.

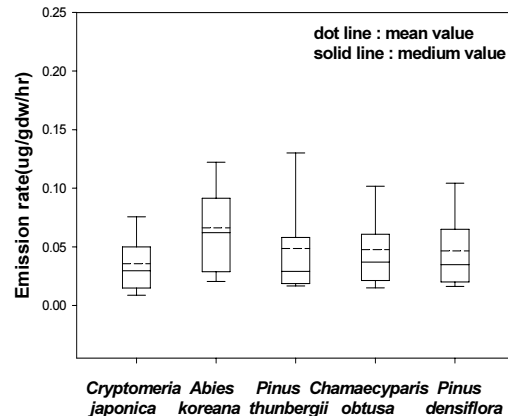


Fig. 3. Emission rates of isoprene in different conifers during the period.

데, 다만 구상나무의 경우는 타 수종에 비해 다소 높은 배출속도를 보였다. 또한 침엽수에 있어서 isoprene의 배출속도는 monoterpene에 비해 월등히 낮았으며, 특히 활엽수의 isoprene 배출속도와 비교하면 100~1,000 배 정도 낮은 것을 알 수 있다(김 등, 2004a; Pier, 1995).

3.2. Monoterpene 배출속도의 계절변동 특성

Fig. 4에는 총 monoterpene 배출속도의 계절별 변동특성을 침엽수종별로 나타냈다. Fig. 4에서 보면 침엽수에 해당하는 모든 수목들에서 실측된 monoterpene 배출속도는 기온이 높은 여름철에 높고 기온이 낮은 겨울철에 가장 낮은 것으로 나타나고 있다. 그렇지만 실측된 monoterpene 배출속도를 일온도 30℃인 표준상태로 환산해 보면 여름보다는 오히려 봄철에 배출속도가 가장 크고 다음으로 여름, 가을, 겨울철의 순으로 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 표준상태에서의 배출속도가 여름철보다 봄철이 높게 나타나는 것은 봄철에 타 계절보다 침엽수의 성장속도가 활발하기 때문인 것으로 추정된다. 국립환경연구원(2005) 연구결과에서도 본 연구결과와 유사하게 봄철의 소나무 monoterpene 배출속도가 타 계절에 비해 가장 높은 것으로 보고된 바 있다.

3.3. Monoterpene 배출속도의 시간별 변동 특성

Fig. 5에 하루 중 기온이 가장 높은 오후 1시부터 시작하여 밤 10시까지 monoterpene 채취 시간대별 삼나무, 구상나무, 곰솔, 편백나무, 소나무의 monoterpene 배출속도의 변동을 나타내어 보았다. Fig. 5에서 보면 기온이 가장 높은 시간대인 13시~14시에 가장 높은 배출속도를 보였으며 오후시간대로 갈수록 배출속도가 낮아지고 야간에 까지 비슷한 강하율로 감소하였다. 이와 같이 monoterpene 성분들은 일온도에 아주 의존적인 것으로 알려져 있다(Alex 등, 1993; Tarvainen 등, 2005).

Fig. 5에서 보면 기온이 가장 높은 시간대인 13시~14시에 가장 높은 배출속도를 보였으며 오후시간대로 갈수록 배출속도가 낮아지고 야간에 까지 비슷한 강하율로 감소하였다. 이와 같이 monoterpene 성분들은 일온도에 아주 의존적인 것으로 알려져 있다(Alex 등, 1993; Tarvainen 등, 2005).

3.4. 일온도에 따른 monoterpene 배출속도의 변동

monoterpene의 배출량은 일 온도에 따라 차이가 많아 온도에 의한 민감도를 평가함에 있어 민감도 계수(β)를 이용하여 평가하고 있다(국립환경연구원, 2005; Tarvainen 등, 2005).

monoterpene의 환경 보정계수식($\exp[\beta \cdot (T-T_s)]$)에서 온도 민감도 계수(β)는 monoterpene 배출속도가 온도에 어느 정도 민감한가, 즉 온도에 의해 배출속도는 어느 정도 영향을 받는가 하는 척도로서 사용하고 있다. monoterpene 배출속도 산정시 Guenther 등(1994)에 의해 많은 식물들의 실험을 통해 경험치로서 $\beta = 0.09K^{-1}$ 로 많이 사용하고 있지만 모든 식물들은 서로 다른 일온도에 대한 민감계수(β)를 갖고 있다. Fig. 6은 침엽수의 일온도와 monoterpene 배출속도의 상관성을 나타냈다. 회귀식에 대한 일온도와 monoterpene의 상관계수(결정계수)값들은 0.771~0.863으로서 자

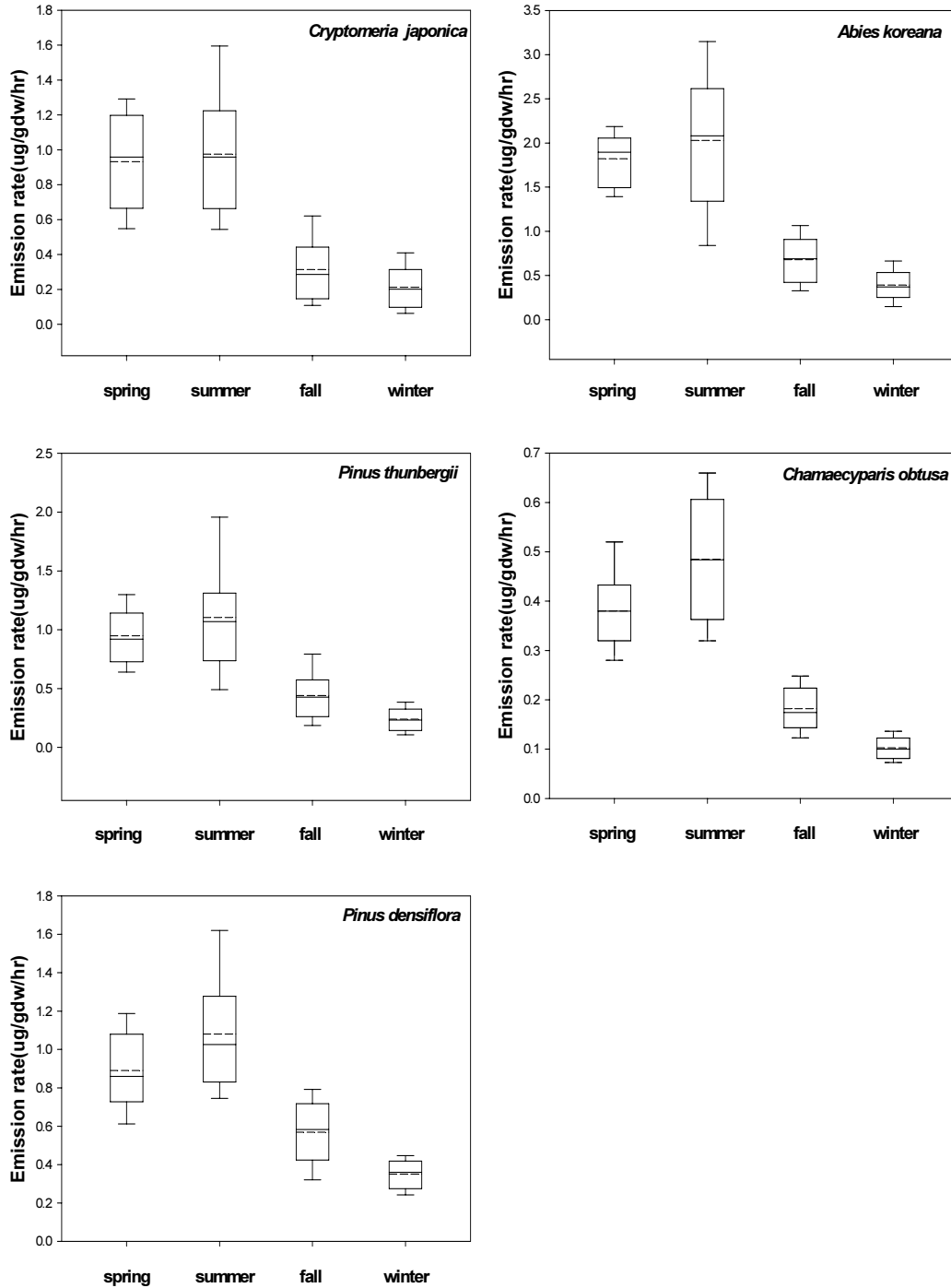


Fig. 4. Seasonal variations of emission rates of total monoterpenes for conifers during the sampling period(dot line : mean value, solid line : medium value).

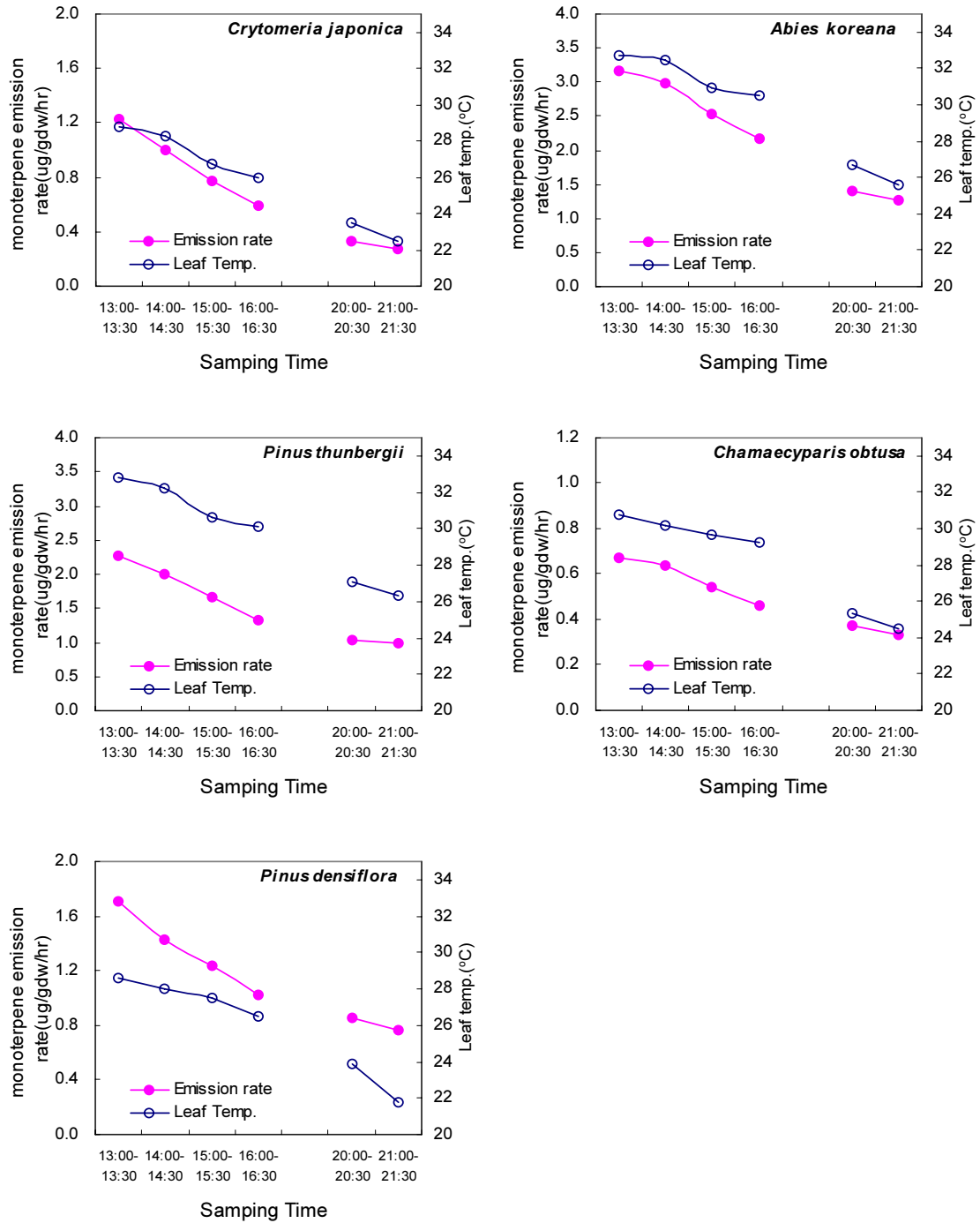


Fig. 5. Diurnal variations of emission rate of monoterpene and leaf temperature at conifers.

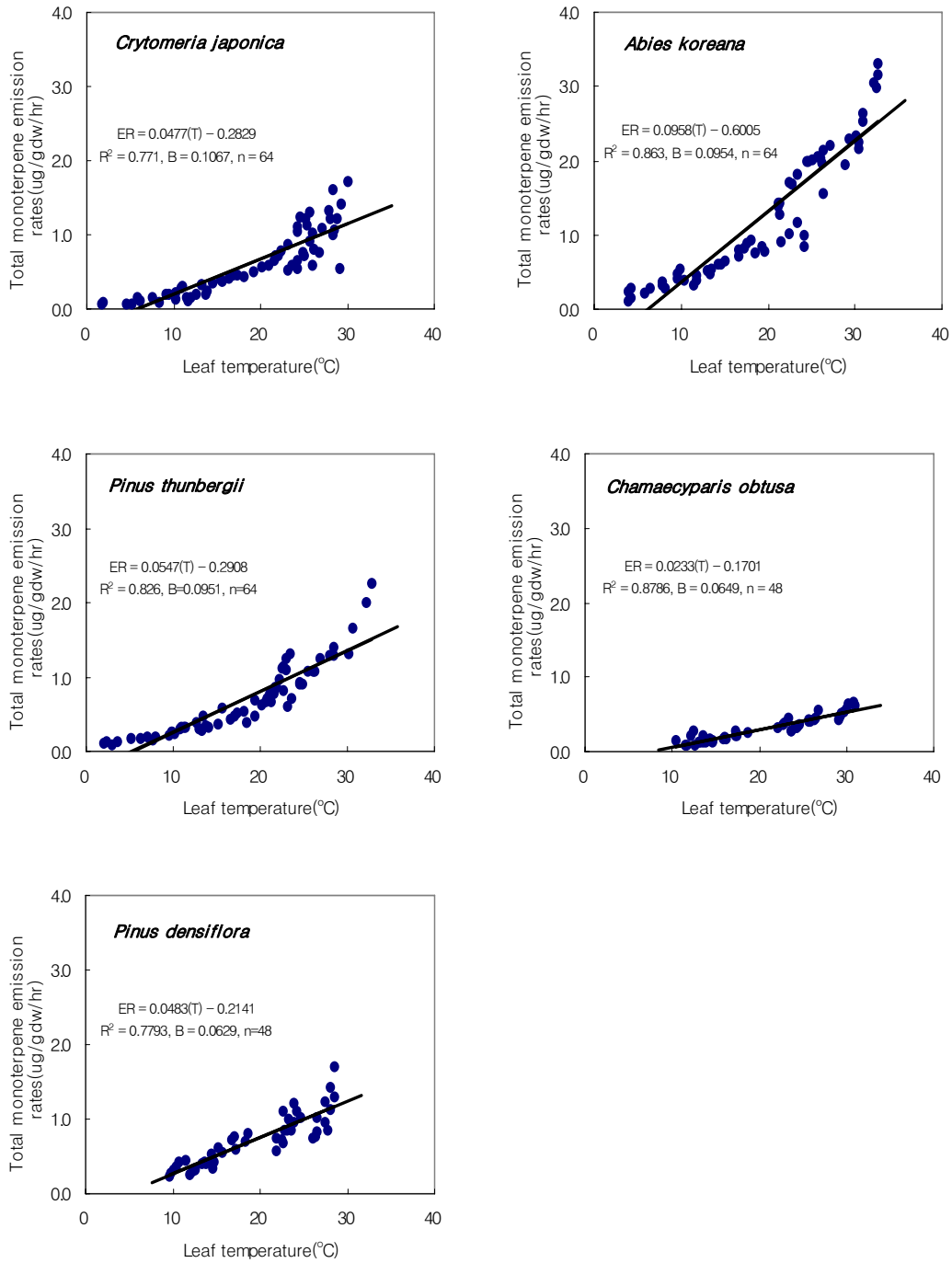


Fig. 6. Relationship between emission rate of monoterpene and leaf temperature for conifers during the sampling period.

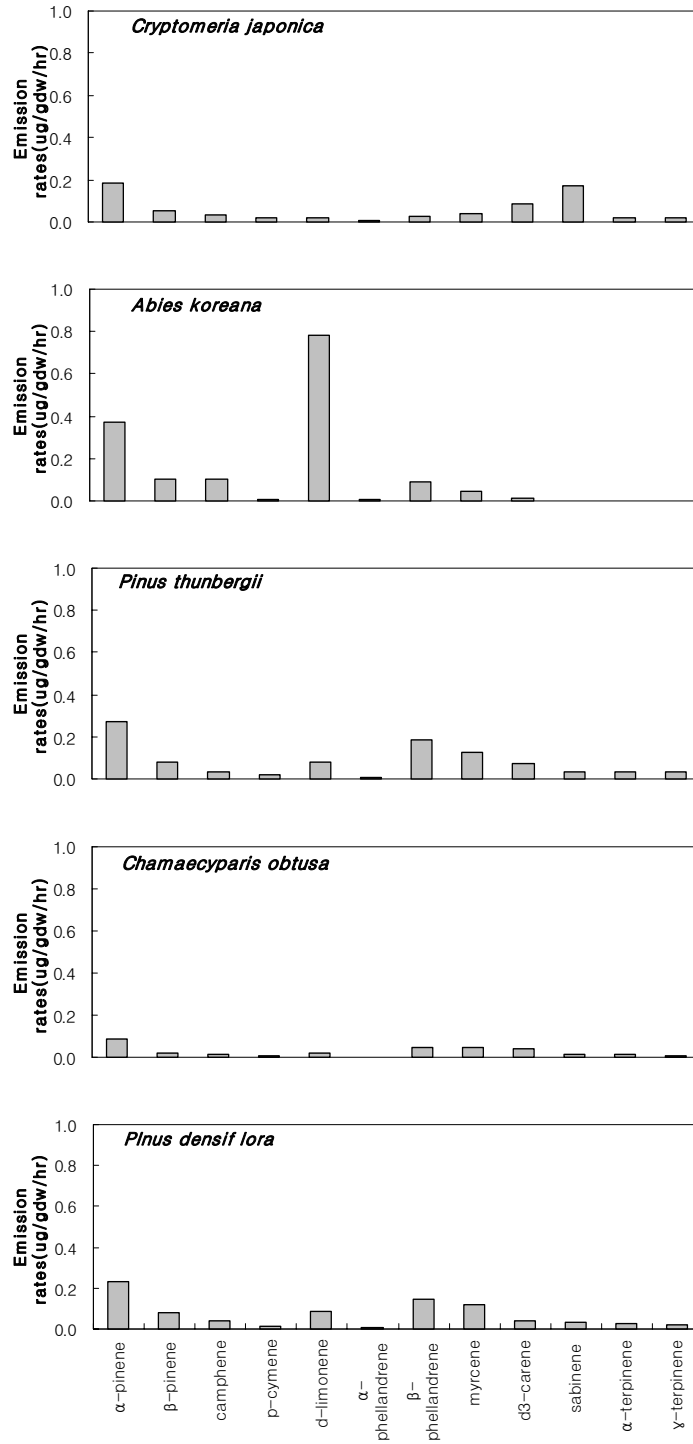


Fig. 7. Comparison of monoterpene components for conifer trees during sampling period.

연 식생의 수목을 고려하면 높은 상관성의 값들이며 잎온도와 monoterpene의 배출속도에는 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다. 온도 민감도 계수(β)는 삼나무($0.1067K^{-1}$) > 구상나무($0.0954K^{-1}$) > 곰솔($0.0951K^{-1}$) > 편백나무($0.0649K^{-1}$) > 소나무($0.0629K^{-1}$) 순으로 높게 나타났다. 삼나무와 구상나무 및 곰솔은 Guenther 등(1994)이 제안한 $\beta = 0.09K^{-1}$ 값과 비슷한 민감도를 나타낸 반면 편백나무와 소나무는 그보다 다소 낮은 민감도 계수값을 보였다. 소나무인 경우 국내 선행 연구자료와 비교해 보면 여름철 금성산($\beta = 0.138K^{-1}$)과 지리산($\beta = 0.190K^{-1}$)과 비교하면 낮은 결과를 보였다(김 등, 2004b).

3.5. 침엽수의 monoterpene 성분별 배출속도

침엽수의 monoterpene 성분별로 배출속도를 알아보기 위해 Fig. 7에 침엽수의 monoterpene 성분별 배출속도를 나타냈다. Fig. 7에서 보면 침엽수의 monoterpene 성분별 배출속도는 조사 수목별로 다른 패턴을 나타내고 있다. 동일 속인 곰솔과 소나무에서 배출되는 monoterpene 성분들 중 α -pinene, β -pinene, β -phellandrene, myrcene 성분들이 중요한 구성 성분들이므로 나타났으며, 편백나무도 유사한 구성 패턴을 보였다. 하지만 구상나무에서는 d-limonene의 배출속도가 월등히 많고 다음으로 α -pinene 성분인 것으로 나타났으며, 삼나무에서는 α -pinene, d³-carene, sabinene의 주요 성분으로 나타났다. 곰솔은 동일속인 소나무와는 배출속도 수준은 다소 다르지만 구성 패턴은 비슷한 결과를 보였으며 반면에 삼나무와 구상나무, 편백나무와는 구성 패턴이 사뭇 다른 분포를 보였다. 이와 같은 결과는 monoterpene 성분들 자체가 수목의 잎 등에 함유되어 있는 정유 오일 성분 구성비 차이에서 유래하기 때문에 유사 종일 수록 유사한 구성비율을 보이는 것으로 추정된다(강, 2001; 김, 1998).

4. 결론

본 연구에서는 제주지역의 침엽수를 대표하는 곰솔과 구상나무를 포함하여 삼나무, 소나무, 편백나무 등 5 수종을 각각 선정하여 2007년 6월부터 2008년 12

월까지 수목에서 배출되는 산림육 성분인 monoterpene 성분들과 isoprene의 배출 속도를 측정 및 비교하여 수종별, 계절별 BVOCs의 배출 특성을 분석하였다.

구상나무의 monoterpene 배출속도는 $1.86 \mu g/gdw/hr$, 삼나무($1.22 \mu g/gdw/hr$), 곰솔($1.34 \mu g/gdw/hr$), 편백나무($0.52 \mu g/gdw/hr$), 소나무($1.78 \mu g/gdw/hr$)로 측정되어 구상나무>소나무>곰솔>삼나무>편백나무순으로 배출속도 순위를 보였으며, isoprene은 전체적으로 $0.01\sim 0.23 \mu g/gdw/hr$ 범위로서 monoterpene에 비해 월등히 낮은 배출속도를 보였다.

계절별 monoterpene 배출속도 변동특성을 보면 봄철에 배출속도가 가장 크고 다음으로 여름, 가을, 겨울철로 나타났으며 봄철과 여름철에 타 계절보다 침엽수의 성장속도가 활발하기 때문인 것으로 추정된다.

monoterpene의 환경보정계수식에서 온도 민감도 계수(β)는 삼나무($0.1067K^{-1}$)>구상나무($0.0954K^{-1}$)>곰솔($0.0951K^{-1}$)>편백나무($0.0649K^{-1}$)>소나무($0.0629K^{-1}$)순으로 높게 나타났다.

침엽수의 monoterpene 성분별 배출 패턴은 수종별로 다른 경향을 보였으며 동일 속인 곰솔과 소나무에서 배출되는 monoterpene 성분들 중 α -pinene, β -pinene, β -phellandrene, myrcene 성분들이 중요한 구성 성분들이므로 나타난 반면, 구상나무에서는 d-limonene의 배출속도가, 삼나무에서는 α -pinene, d³-carene, sabinene의 주요 성분으로 나타났다. 이와 같은 결과는 monoterpene 성분들 자체가 수목의 잎 등에 함유되어 있는 정유 오일 성분 구성비 차이에서 유래하기 때문에 유사 종일 수록 유사한 구성비율을 보이는 것으로 추정된다. 앞으로 수목의 휘발성물질 배출특성의 심층분석을 위해서 수목내에 포함되어 있는 정유 오일에 대한 분석이 필요하다. 수목에서 배출되는 휘발성 물질의 측정된 배출속도들은 제주지역의 BVOCs 배출규모와 광화학적 오존 생성을 규명하는데 중요한 자료로 활용될 것이다.

참 고 문 헌

- 강하영, 2001, 정유, 소나무 소나무림, 임업연구월 154-160.
국립환경연구원, 2005, 오존 및 스모그 오염개선기술, 대기 Inventory 작성과 배출계수 개발 및 오염배출량

- 산정연구, 133-1006.
- 김기준, 김조천, 임준호, 2005, 산림대기중 인위적 VOCs와 자연적 VOCs의 농도 비교 연구, 환경분석학회지, 8(3), 132-136.
- 김윤근, 1998, 구상나무 추출물의 생리활성에 관한 연구, 박사학위논문, 경상대학교.
- 김은정, 정성원, 최근표, 함승시, 강하영, 1998, 솔잎 추출물의 in vitro계 암세포 성장 억제효과, Korean J. Food Sci. Technol., 30(1), 213-217.
- 김조천, 김기준, 홍지형, 선우영, 임수길, 2004a, 여름철 참나무속의 이소프렌 배출속도 비교에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 20(1), 111-118.
- 김조천, 홍지형, 강창희, 선우영, 김기준, 임준호, 2004b, 침엽수로부터 발생하는 방향성 테르펜의 배출속도 비교 연구, 한국대기환경학회지 20(2), 175-183.
- 나기정, 1998, 침엽수종으로부터 분리된 정유의 스트레스 완화효과, Korean J. of Lab. Anim. Sci., 14(1), 93-96.
- 이상익, 신원섭, 권영문, 권현교, 2003, 산림 방향 물질이 불안감, 우울감에 미치는 영향, 한국산림휴양학회지, 7(4), 25-29.
- 조규탁, 김조천, 홍지형, 2006, BEIS와 CORINAIR 산출 방법에 의한 자연식생 VOC 배출량 산출 비교 연구, 한국대기환경학회지, 22(2), 167-177.
- 지동영, 김소영, 한진석, 2002, 소나무와 잣나무에서 배출되는 주요 테르펜의 배출특성에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 18(6), 515-525.
- Alex, B., Guenther, A., Patric, R., Zimmerman, P. R., Peter, C., Harley, P. C., 1993, Isoprene and monoterpene emission rate variability : model evaluations and sensitivity analysis, J of Geophys. Res., 98(D7), 609-12,617.
- Arey, J., Winer, A. M., Atkinson, R., Aschmann, S. M., Long, W. D., Morrison, C. L., Terpenes emitted from agricultural species found in California's Central valley, 1991, J. of Geophys. Res., 96(D5), 9329-9336.
- Geron C., Guenther, A. J., Greenberg, H., Loescher, W., Clark, D., Baker, B., 2002, Biogenic volatile organic compound emissions from a lowland tropical wet forest in Costa Rica, Atmos. Environ., 36, 3793-3802.
- Guenther, A., Hewitt, N., Erickson, D., Fall, R., Geron, Graedel, C., T., Harley, P., Klinger, L., Lerdau, M., Mckay, W. A., Pierce, T., Scholes, B., Steinbrecher, R., Tallamraju, R., Taylor, J., Zimmerman, P. R., 1995, A global model of natural volatile organic compound emissions, J. of Geophys. Res., 100, 8873-8892.
- Guenther, A., Zimmerman, P. R., Wildermouth, M., 1994, Natural volatile organic compound emission rate estimates for U.S. woodland landscapes, Atmos. Environ., 32(10), 1825-1833.
- Kesselmeier, J., Kuhn, U., Wolf, A., Andreae, M. O., Ciccioli, P., Brancaleoni, E., Frattoni, M., Guenther, A., Greenberg, J. P., Telles, D. O., Tavares, T., Artaxo, P., 2000, Atmospheric volatile organic compounds (VOC) at a remote tropical forest site in central Amazonia, Atmos. Environ., 34, 4063-4072.
- Lamb, B., Guenther, A., Gay, D., Westberg, H., 1987, National inventory of biogenic hydrocarbon emissions, Atmos. Environ., 21, 1695-1705.
- Pier, P. A., 1995, Isoprene emission rates from northern red oak using a whole-tree chamber, Atmos. Environ., 29(12), 1347-1353.
- Tarvainen, V., Hakola, H., Hellen, H., Back, J., Hari, P., Kulmala, M., 2005, Temperature and light dependence of the VOC emissions of Scots pine, Atmos. Chem. and Physics, 2005, 989-998.