

제주지역에 분포하는 활엽수의 BVOCs 배출특성

김형철 · 이기호^{1)*}

제주특별자치도 보건환경연구원, ¹⁾제주대학교 환경공학과
(2012년 3월 12일 접수; 2012년 4월 2일 수정; 2012년 5월 19일 채택)

A Study on Emission Rate of BVOCs from Broad-leaved Trees at Jeju Island

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

Institute of Health and Environment, Jeju Special Self-Governing Province, Jeju 690-815, Korea

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

(Manuscript received 12 March, 2012; revised 2 April, 2012; accepted 19 May, 2012)

Abstract

Emission rates of biogenic hydrocarbon emitted from broad-leaved trees grown at Jeju Island were estimated using a dynamic enclosure method. Leaf temperature, PAR and relative humidity were monitored during the sampling time. The emission rates of isoprene and monoterpene were measured for five plants (*Carpinus laxiflora*, *Quercus serrata*, *Styrax japonicus*, *Quercus acutissima*, *Quercus crispula*) during the sampling period at the Halla mountain sites. Among five tree species, the highest isoprene emission rate of $10.60 \mu\text{g gdw}^{-1}\text{hr}^{-1}$ was observed for *Quercus serrata*. The seasonal emission rates were the highest during summer and the emission of isoprene was highly affected by light and temperature variations. The highest emission rate of isoprene was occurred between 13:00 and 14:00, but isoprene was not emitted in nighttime because of the absence of light.

Key Words : Isoprene, Monoterpene, Emission rates, Broad-leaved tree, Dynamic enclosure chamber, Jeju Island

1. 서론

식생에서 배출되는 휘발성유기화합물(BVOCs; biogenic volatile organic compounds)이 대기화학에서 중요한 역할을 할 수 있다는 주장이 제기되면서 많은 연구들이 수행되어 왔다(Geron 등, 2002; Kesselmeier 등, 2000; Pier, 1995; Arey 등, 1991). 지구 전체적으로 VOCs의 자연적인 배출량은 $1,150 \text{ TgC yr}^{-1}$ 정도

이며, 이중 98% 정도가 BVOCs인 것으로 추정하고 있다. 그리고 VOCs의 자연적인 배출총량은 인위적인 배출량보다 7배 이상 많은 것으로 추정하고 있다(Guenther 등, 1995; Guenther 등, 1994). 우리나라의 경우 식생에서 연간 총 431천 톤이 배출되며 인위적인 배출량은 연간 723천 톤 정도인 것으로 추정하고 있다(국립환경과학원, 2005). 그렇지만 제주지역은 각종 오염물질의 배출원의 존재가 미미한데, 인위적인 휘발성 유기화합물의 배출원도 역시 그러하다. 반면 제주도는 전체 면적의 절반이 산림으로 분포하고 있어 육지의 여타 도시 지역에 비해 수목이 비교적 풍부하게 분포하고 있다. 따라서 제주지역에서는 휘발성 유기화합물에 있어서는 인위적인 배출보다는 자연

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

적인 배출이 오히려 많을 것으로 예상하고 있다. 따라서 우리나라 대도시 지역의 대기화학 중 휘발성 유기 화합물의 존재에는 인위적인 배출의 영향이 클 것이지만 제주도에서는 자연적 배출이 대기환경에서는 더욱 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

수목은 증산작용을 통해 도심권의 대기 온도를 저하시키고, 대기 중의 이산화탄소는 물론이고 아황산가스, 질소산화물 등과 같은 가스상 오염물질을 흡수하는 역할을 한다. 그와 더불어 BVOCs를 배출한다(이 등, 2003; 김 등, 1998; 나, 1998). 이 물질들은 인체에 유익한 역할을 하지만 대기화학적 측면에서 보면 유기 에어로졸의 생성, 산성비 원인물질인 유기산의 생성, 오존의 전구물질로서의 역할 등과 같은 부정적인 측면도 있다(Geron 등, 2002; Kesselmeier 등, 2000; Pier, 1995; Arey 등, 1991).

미국이나 유럽에서 식생의 휘발성 유기화합물에 대한 연구는 꾸준히 수행되어 왔다. 우리나라에서도 최근에 들어 BVOCs 배출속도 및 배출량 등에 대한 연구가 수행되고 있으나 대부분의 연구가 한반도 육지부의 식생을 대상으로 수행되고 있다. 그렇지만 제주도와 같이 해양의 영향을 받는 지역에 성장하고 있는 수목의 배출특성을 반영한 연구는 전무한 실정이다(Cho 등, 2006; Son 등, 2006; Kim 등, 2005; Kim 등, 2004a; Kim 등, 2004b; Lim, 2005; Ji 등, 2002).

따라서 우리나라 전체적인 BVOCs 배출량을 정확하게 파악하기 위해서는 지역에 분포하고 있는 식생 종류별로 배출속도 측정이 필수적이며, 특히 지리적 특성이 반영되는 배출특성 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 제주지역의 활엽수를 대표하는 수종을 선정하여 수목에서 배출되는 BVOCs의 주요 성분인 isoprene과 monoterpenes의 배출 속도를 측정하여 수종별, 계절별 BVOCs의 배출 특성을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 수종 선정 및 채취 장소

제주 지역의 활엽수는 대부분 600 m 이상의 고지대에 위치하고 있으며 육지지역과는 다른 분포를 보이고 있다. 우리나라 전체적으로는 상수리나무, 신갈

나무, 굴참나무, 졸참나무, 아까시나무 등이 우점을 보이고 있지만 제주지역은 서어나무, 졸참나무, 물참나무, 때죽나무, 상수리나무 등이 우점을 보여 육지 지역의 산림과는 다른 식생분포를 나타내고 있다. 또한 육지와는 달리 침엽수림의 면적(24,032 ha)보다는 활엽수림의 면적(29,854 ha)이 더 넓다.

본 연구에서 연구 대상 수종을 선정함에 있어서 활엽수의 분포면적을 고려하여 선정하였으며, 제주지역의 활엽수 평균 수령이 45년 정도임을 고려하여 4령인 수종을 선정하였다. 그리고 주변 수목들의 평균적인 높이를 고려하여 수고가 10 m 내외인 수종들을 선정하였다. 본 연구에서 선정한 수종은 서어나무(*Carpinus laxiflora* Siebold & Zucc.), 졸참나무(*Quercus serrata* Thunberg), 때죽나무(*Styrax japonicus* Siebold & Zucc.), 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.), 그리고 물참나무(*Quercus crispula* Blume)이다.

시료 채취지역은 한라산 국립공원 인근지역인 한라생태숲을 중심으로 인근 활엽수 산림지역에서 수종별 나뭇잎 시료에서 BVOCs를 채취하였다. 시료채취는 2007년 6월부터 2008년 12월까지 수종별로 36~48회에 걸쳐 채취하였다. 채취는 주간 및 야간을 구분하여 채취하였으며, 주간은 기온이 가장 높은 13시부터 17시까지 시간간격으로 30분 동안 4회 채취하였고 야간은 20시부터 22시까지 시간간격으로 2회 채취하였다.

2.2. 실험장치 및 채취방법

본 연구에 사용한 dynamic flow through chamber는 BVOCs 시료 채취시 시료의 변질, 손실 방지 및 외부 환경을 충분히 고려하여 15.7 ℓ(50 cm×20 cm)의 원통형으로 제작하였다.

현지에서 시료를 채취하는 모식도를 Fig. 1에 나타냈다. 그림에서 보듯이 chamber로 유입되는 제로공기 및 기체 시료 유출량의 정확성을 유지하기 위해 유입 공기통 입구에 순간유량계(Dwyer RMA 26SSV, USA) 및 MFC(Mass Flow Controller: KOFLOC 8500MC, Japan)를 설치하고 chamber 출구에는 샘플러(Sigma MP Σ300, Japan)를 사용하여 유입량과 동일한 유량으로 흡입시켜 chamber 안의 유량이 평형으로 유지되도록 하였다. BVOC의 채취장치는 샘플러(Sigma MP

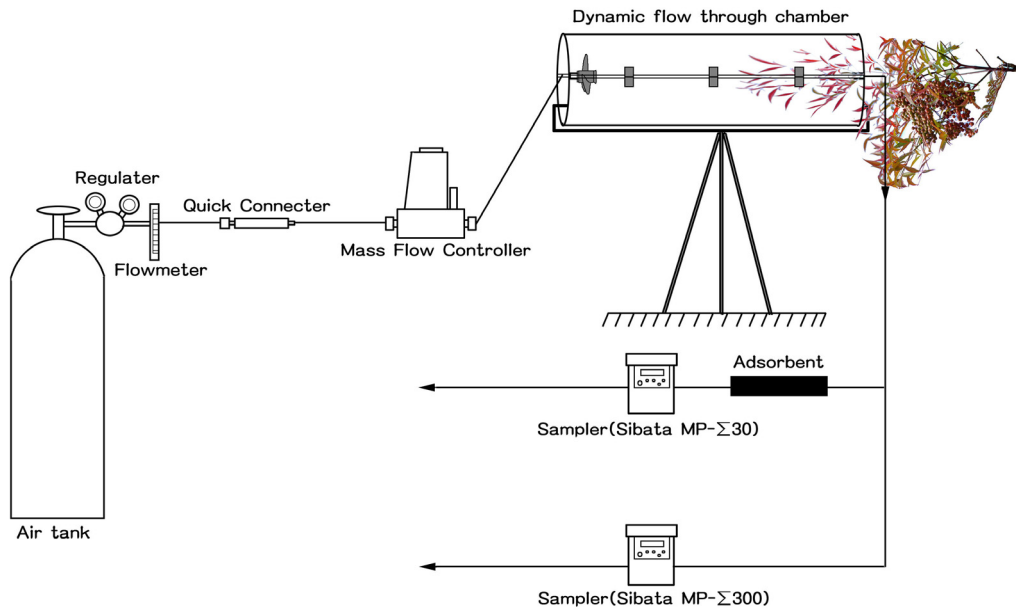


Fig. 1. Schematic diagram for BVOCs sampling system at the sampling site.

Σ30, Japan)를 장착하여 외부 공기 유입이나 시료의 외부 누출에 따른 손실을 최소화시켰다.

수목의 잎가지는 지상으로부터 약 2 m~5 m 높이에 위치하므로 이들 잎가지를 대상으로 기체시료를 채취하기 위해 시료 채취용 chamber 거치대를 별도로 제작하였으며, 높기와 각도를 조절할 수 있도록 제작하였다.

chamber내 흐름이 정상상태를 달성한 후에 샘플러(Sigma MP-30, Japan)로써 100 mL/min 유량으로 isoprene과 monoterpene 시료를 각각 30분간씩 채취하였다. monoterpene은 300 mg Tenax TA(60/80 mesh, Supelco, USA), isoprene은 300 mg Carbotrap 300(60/80 mesh, Supelco, USA)을 이용하였다.

흡착트랩의 안정화는 ATC-07(KNR(주), KOR)을 이용하여 2시간 동안 50 mL/min 이상의 질소가스를 이용하여 세척시켰으며, 사용 전에 흡착관 안정화 상태를 확인하기 위하여 공시험(blank test)을 거쳤다.

본 연구에서 사용된 채취장치와 시료채취방법 등에 대해서는 이전의 연구에 자세히 서술되어 있다 (Kim과 Lee, 2010).

2.3. 분석방법

채취된 흡착관은 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. 정성 및 정량분석 모두 GC/MS(PERKIN ELMER, Clarus 500, USA)를 이용하였으며, 정성분석은 Scan mode에서 NIST (National Institute of standard and Technology) Library을 이용하여 채취된 BVOCs의 정성분석에 이용하였다. GC/MSD용 column으로는 Elite 1(60 m×0.25 mm, 1 μm)이 사용되었다. 액상표준액 기화 장치인 ATIS(Adsorbent Tube Injector System, Supelco, USA)를 이용하여 표준가스를 10~100 ng 범위의 단계별로 조제하여 사용하였다. 정량분석을 위해서는 Sim mode(Select ion monitoring mode)방식과 외부 표준법(external standard method)을 사용하였으며, 주입된 양과 피크 면적과의 비를 이용하여 정량하였다. BVOCs 시료의 검출한계를 계산하기 위해 MDL

(Method Detection Limit) 방법을 사용하였다. MDL 은 signal 대 noise(S/N)의 값을 고려하였으며 S/N비가 3배가 되는 농도기준으로 7회 반복 분석한 농도에 대한 표준편차를 이용하여 MDL 구한 결과 0.5~1ng(n=7)로 추정되었으며, 이 값은 현장의 시료채취 유량(3ℓ)을 고려하면 약 16~63 pptv 수준인 것으로 나타났다.

BVOCs의 배출속도(ER: Emission rate)는 실측한 sample의 농도를 chamber의 유입 공기 유량과 일 건 중량과의 관계를 고려한 다음의 식으로서 배출속도를 계산하였다.

$$ER(\mu\text{g gdw}^{-1}\text{hr}^{-1}) = \text{total flow rate}(\text{L hr}^{-1}) \times \text{sample concentration}(\mu\text{g L}^{-1}) \div \text{total dry weight of leaves}(\text{gdw})$$

3. 결과 및 고찰

3.1. Isoprene와 monoterpene 배출속도

현장에서 측정된 각 수종별(때죽나무, 서어나무, 졸참나무, 상수리나무, 물참나무) isoprene의 배출속도를 Fig. 2에 나타냈다. 그림에서 보면 졸참나무의 isoprene 배출속도가 1.03~29.45 $\mu\text{g gdw}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 로서 타 수종들에 비해 월등히 큰 배출속도를 보였으며 그 변동 범위도 큰 것을 볼 수 있다. 그리고 졸참나무와 동

일 속(屬)인 물참나무와 상수리나무와도 큰 차이를 보였다. 현장에서 측정된 isoprene의 배출속도를 타 연구결과와 비교하기 위해 표준조건 (30°C, 1,000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$)으로 나타내어 Table 1에 나타냈다. 본 연구에서 나타난 졸참나무와 상수리나무의 isoprene 배출속도를 국내 금성산에서 조사된 배출속도와 비교할 때, 졸참나무는 금성산의 1/2배 정도에 지나지 않았으나, 상수리나무는 상대적으로 다소 큰 배출속도를 보였다. 그리고 외국의 참나무속 배출속도 결과와 비교해 보면 졸참나무는 다소 큰 값을 보인 반면 물참나무는 적은 것으로 나타났다. 또한 서어나무인 경우 외국의 동일속(*Carpinus*) 보다 다소 큰 값을 보였다. Guenter 등(1994)에 의하면 isoprene 배출속도를 4개 그룹(negligible: < 0.1, low: 14±7, moderate: 35±17.5, high: 70±35)으로 구분하여 제시한 바 있는데, 본 연구에서 조사된 isoprene 배출속도 결과를 이에 적용해 보면, 졸참나무는 high 그룹, 서어나무와 때죽나무, 상수리나무, 물참나무는 low 그룹으로 분류되었다. 이와 같이 동일 속일지라도 종에 따라서 배출속도는 크게 차이가 나타나며, 미국이나 유럽 등에서 이루어진 이전 연구에서도 이와 유사한 결과가 보고되고 있다(Padby와 Varshney, 2005; Kesselmeier 등, 1998; Lerdau와 Keller, 1997). 또한 유럽이나 미국 등 국가 간에도 배출속도에 차이뿐 아니라 국내에서도 지역 간에도 배출속도에 차이를 보였다. 결국, 동일 속이거나

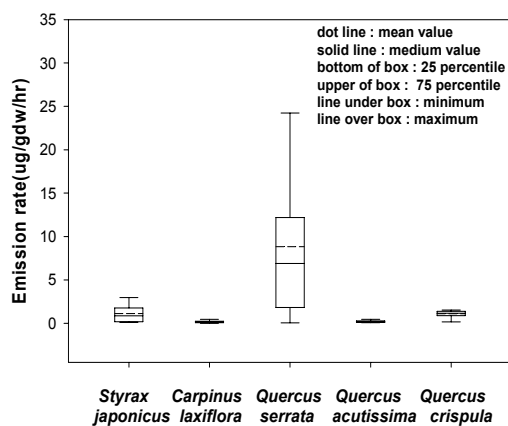


Fig. 2. Emission rates of isoprene from various broad-leaved trees.

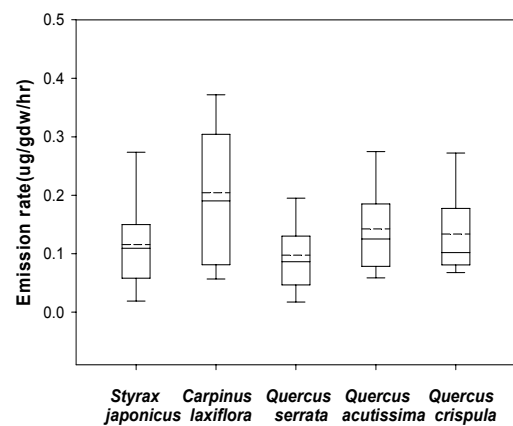


Fig. 3. Emission rates of monoterpenes from various broad-leaved trees.

Table 1. Isoprene emission rates at standard condition(30°C, 1,000 μmol m⁻²sec⁻¹) for various trees

Scientific name	Isoprene emission rate (ERs, μgC gdw ⁻¹ hr ⁻¹)	Reference
<i>Carpinus laxiflora</i>	0.76	
<i>Styrax japonicus</i>	4.94	
<i>Quercus serrata</i>	59.87	This study
<i>Quercus acutissima</i>	1.16	
<i>Quercus crispula</i>	12.00	
<i>Carpinus hornbeam</i>	< 0.1	Guenther et al.(1994)
<i>Quercus serrata</i>	91.4~101.4	Kim et al.(2004)
<i>Quercus acutissima</i>	0.059~0.062	Kim et al.(2004)
<i>Quercus agrifolia</i>	24.0~38.7	Kesselmeier et al(1998)
<i>Quercus pubescens</i>	37.0~51.5	Kesselmeier et al(1998)

종일 종일지라도 토양이나 기후 등 수목의 서식환경에 따라 isoprene 배출속도가 달라질 수 있음을 말해주고 있다(Kim 등, 2004a; Geron 등, 2002; Karlik과 Winer, 2001; Kesselmeier 등, 2000).

Fig. 3는 활엽수 수종별 monoterpene 성분의 배출속도 분포를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보면 서어나무의 monoterpene 배출속도가 다른 활엽수들보다 다소 높은 값을 보였으며 졸참나무가 상대적으로 적은 값을 보였다. 하지만 연구 대상 활엽수의 monoterpene 평균 배출속도는 대부분 0.1~0.2 μg gdw⁻¹hr⁻¹ 범위로서 isoprene 배출속도에 비해 1/10~1/100 배 수준으로 아주 적은 값을 보였다. 이를 소나무 및 곰솔 등과 같은 침엽수에서의 monoterpene 배출속도와 비교해 보면 약 1/10 배 수준으로서 적은 값을 보였으며(Lee 등, 2008; Kim 등, 2004b) 이는 활엽수 잎 내부에 함유된 VOCs 량이 침엽수의 잎에 비해 상대적으로 아주 적

기 때문으로 생각된다(Kim, 2005; 임업연구원, 1999).

3.2 Isoprene 및 monoterpene 배출속도의 계절변동 특성

Table 2에 활엽수의 isoprene 배출속도를 표준조건(30°C, 1,000 μmol m⁻²s⁻¹)으로 환산하여 계절별로 나타냈다. Table 2에서 보면, 모든 수종에서 isoprene 배출속도가 식생 성장이 활발한 여름철의 배출속도가 가장 크고 다음으로 봄, 가을의 순으로 나타났다. 이와 같은 결과는 국내의 선행연구에서 갈참나무와 상수리나무 등의 계절별 변동 특성과 비슷한 경향을 보였다(Son 등, 2006; 국립환경연구원, 2005). 이런 결과를 보이는 것은 isoprene 배출특성이 광합성 및 기온과의 밀접한 상관성 때문에 광합성이 활발하고 기온이 높은 여름철이 봄과 가을철보다 배출속도가 크게 나타나는 것으로 추정된다(국립환경연구원, 2005; Kim 등, 2004a; Guenther 등, 1994).

Table 3에 활엽수의 monoterpene 배출속도를 표준

Table 2. Isoprene emission rates(ERs) of broad-leaved trees at standard condition

Scientific name	Isoprene emission rates(ERs, μg gdw ⁻¹ hr ⁻¹)		
	Spring	Summer	Fall
<i>Carpinus laxiflora</i>	0.96	1.00	0.63
<i>Styrax japonicus</i>	5.33	6.35	5.11
<i>Quercus serrata</i>	64.00	79.50	60.05
<i>Quercus acutissima</i>	1.35	1.71	0.88
<i>Quercus crispula</i>	13.64	15.18	11.99

Table 3. Monoterpene emission rate(ERs) of broad-leaved trees at standard condition

Scientific name	Monoterpene emission rate(ERs, $\mu\text{g gdw}^{-1}\text{hr}^{-1}$)		
	Spring	Summer	Fall
<i>Carpinus laxiflora</i>	0.31	0.40	0.29
<i>Styrax japonicus</i>	0.20	0.22	0.18
<i>Quercus serrata</i>	0.21	0.19	0.16
<i>Quercus acutissima</i>	0.23	0.24	0.19
<i>Quercus crispula</i>	0.24	0.36	0.23

조건(30°C)으로 환산하여 계절별 나타냈다. 활엽수의 monoterpene 배출속도는 졸참나무를 제외하면 isoprene 계절별 변동과 비슷한 경향을 보였으며 또한 침엽수 계절변동 특성과도 비슷한 패턴을 보였다(Lee 등, 2008).

3.3. Isoprene성분의 시간대별 배출속도 평가

Fig. 4에는 활엽수의 주간 및 야간 시간대별 isoprene의 배출속도를 평가하기 위해서 오후 1시부터 시작하여 밤 10시까지 수목별(때죽나무, 서어나무, 졸참나무, 상수리나무, 물참나무) isoprene 배출속도와 잎 온도의 변동을 나타내었다. Fig. 4에서 보면 잎 온도는 isoprene 배출속도의 온도보정계수로서 외부 기온의 영향을 지배적으로 받기 때문에 기온과 하루 중 비슷한 변동특성을 보인다. 따라서 잎 온도(기온)가 가장 높은 시간대인 13시~14시에 가장 높은 배출속도를 보였으며 오후시간대로 갈수록 배출속도가 낮아지는 추세를 보였다.

Fig. 5에는 수목별 isoprene 배출속도와 광합성 유효광(PAR; photosynthetically active radiation)의 변동을 시간대별로 나타냈다. Fig. 5에서 보면 isoprene 배출속도는 PAR이 큰 시간대인 13시~14시에 가장 높은 배출속도를 보였으며, 이는 잎 온도의 변동패턴과 유사한 경향을 보였다. 특히, 야간 시간대에는 isoprene의 배출이 없는 것으로 나타났으며 이는 수목에서 isoprene 배출은 광합성이 이루어질 때에만 가능하기 때문이고, PAR은 주간에만 존재하므로 야간에는 배출이 없는 것으로 추정된다.

3.4. 환경보정인자에 따른 isoprene 배출속도 비교

활엽수의 isoprene의 배출속도는 광과 온도의

영향을 동시에 받는 것으로 알려져 있다(Rinne 등, 2002; Harrison 등, 2001). 따라서 수목별 환경보정계수($C_L \cdot C_T$)와 isoprene 배출속도의 상관성을 파악하기 위해서 isoprene 환경보정계수와 배출속도의 상관성을 수종별로 Fig. 6에 나타냈다. 여기서 C_L 은 광합성과 관련이 있는 광보정계수이고 C_T 는 기온과 관련이 있는 온도보정계수를 말한다. Fig. 6에서 isoprene의 배출속도와 환경보정계수($C_L \cdot C_T$) 사이의 상관계수를 보면, 상수리나무에서 가장 큰 값(0.9506)을 보였고, 다음으로 졸참나무(0.9456), 때죽나무(0.8576), 서어나무(0.8227) 순으로 나타났다. 선행연구의 isoprene를 실측한 자료와 비교해 보면 상관계수(r^2) 값이 갈참나무(0.605~0.807)와 졸참나무(0.926)와 비슷한 결과를 보였다(Son 등, 2006; Kim 등, 2004a). 이는 PAR과 잎 온도가 모두 isoprene 배출속도에 중요한 영향인자인 때문이며, 외국의 선행 연구결과들에서도 동일한 결과를 확인할 수 있었다(Guenther 등, 1995; Guenther 등, 1993).

3.5. Monoterpene 성분별 배출속도

활엽수에서의 monoterpene 성분별 배출속도의 기여도를 알아보기 위해 monoterpene 성분별 배출속도의 구성비율을 Fig. 7에 나타냈다. Fig. 7에서 보면 제주도에 분포하는 활엽수에서 배출되는 monoterpene의 성분들은 침엽수와는 달리 비교적 배출속도가 낮고 배출되는 monoterpene 성분들도 비교적 한정적이지만 α -pinene, β -pinene 성분들은 침엽수와 같이 중요한 성분인 것을 알 수 있다(Lee 등, 2008; Tarvainen 등, 2005; Guenther 등, 1993). 그림에서 보면, monoterpene 각

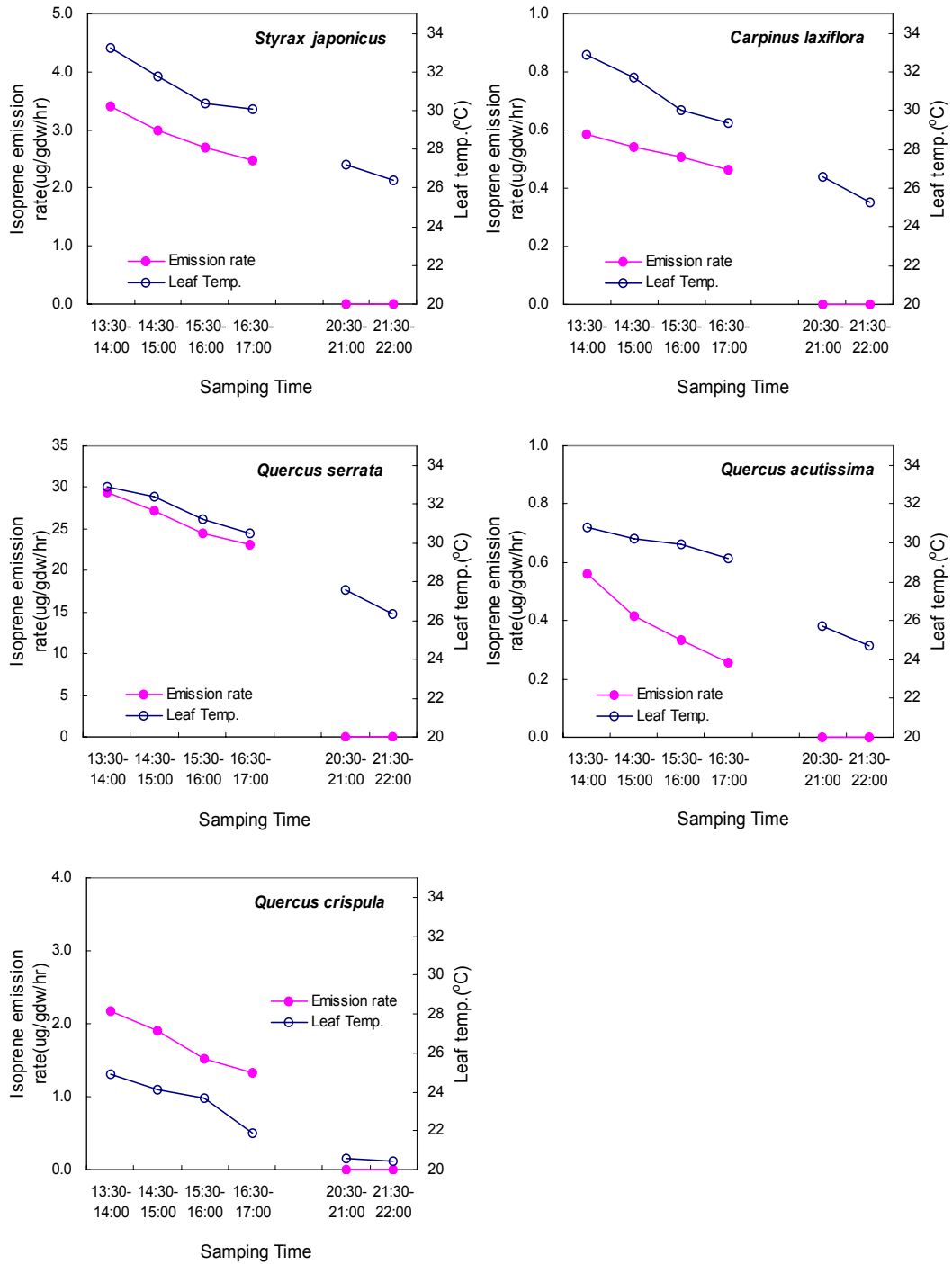


Fig. 4. Diurnal variations of isoprene emission rates and leaf temperature for broad-leaved trees.

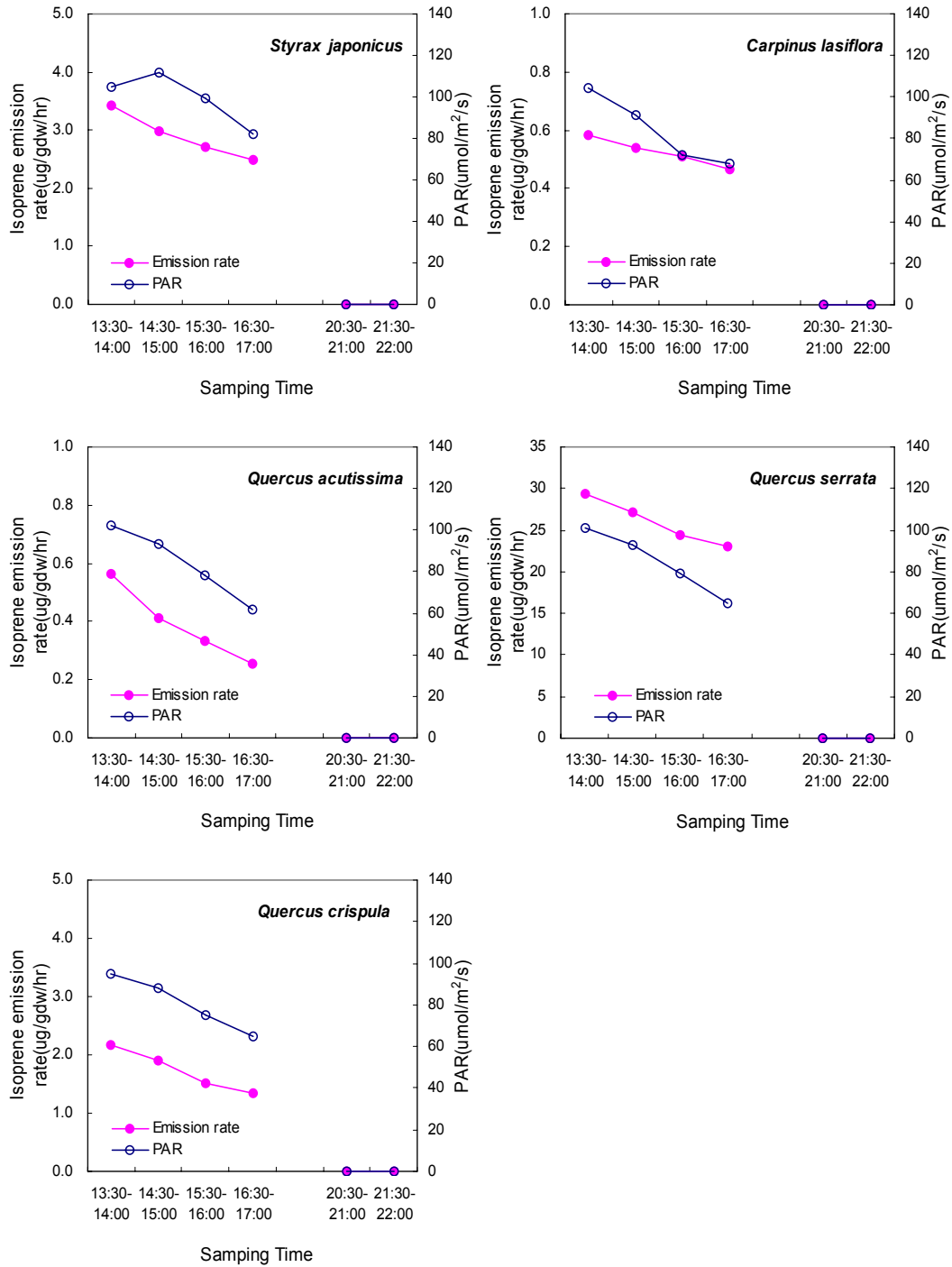


Fig. 5. Diurnal variations of isoprene emission rates and PAR for broad-leaved trees.

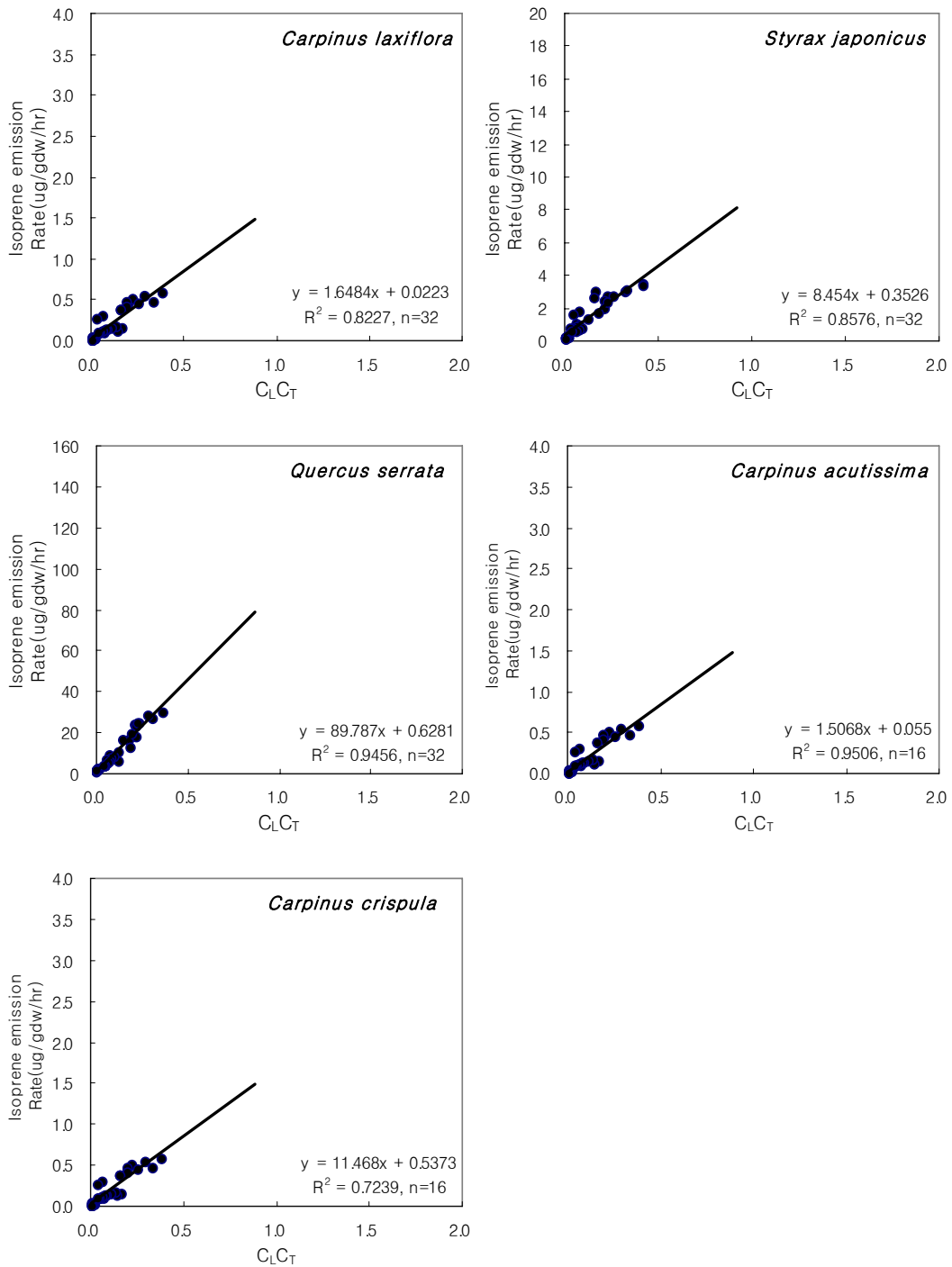


Fig. 6. Dependence of isoprene emission rates on CL · CT for broad-leaved trees.

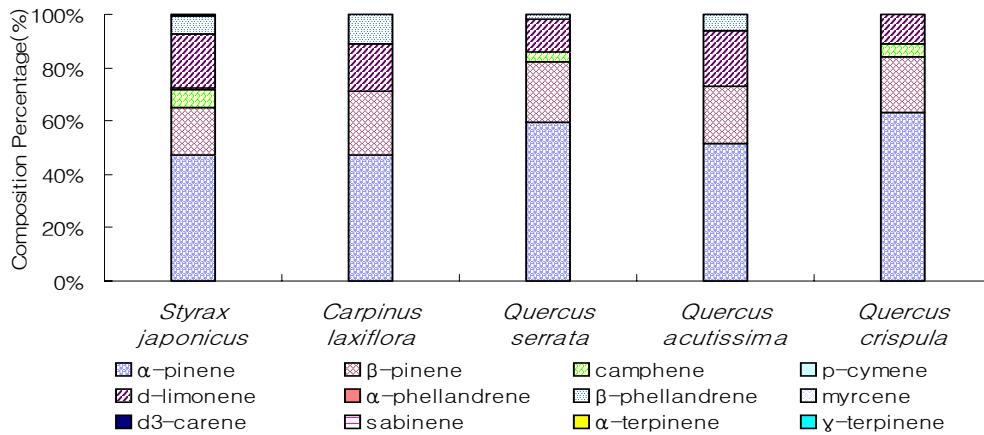


Fig. 7. Composition of monoterpenes emitted from broad-leaved trees.

성분들의 구성비율은 α -pinene 47~63%, β -pinene 18~23%, d-limonene 11~20%, camphene 0~7% 범위로써 α -pinene과 β -pinene 성분의 구성비율이 상대적으로 높게 나타났다. 특히 활엽수에서 α -pinene과 β -pinene의 구성비율은 침엽수에서 이들의 구성비율(α -pinene 20~40%, β -pinene 10% 내외)보다 10~20% 이상 높은 기여도를 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 제주지역의 활엽수를 대표하는 수종을 각각 선정하여 수목에서 배출되는 VOCs의 주요 성분인 isoprene과 monoterpene의 배출 속도를 측정하고 그 배출 특성을 파악하고자 하였다.

제주도에 분포하는 활엽수에서의 isoprene 배출속도를 보면 졸참나무가 $1.03\sim 29.45 \mu\text{g gdw}^{-1}\text{hr}^{-1}$ (평균 $10.60 \mu\text{g gdw}^{-1}\text{hr}^{-1}$)로서 타 수목에 비해 월등히 큰 값을 보였으며 그 변화폭도 큰 것으로 나타났다. 졸참나무와 동일 속인 물참나무와 상수리나무에서는 졸참나무에 비해 상대적으로 낮은 배출속도를 보였다. 이러한 결과는 토양이나 기후 등 수목의 서식환경에 따라 배출속도에서 차이를 보이는 것으로 추정된다. 또한 이들 활엽수의 monoterpene 성분들의 배출속도는 대부분 $0.1\sim 0.2 \mu\text{g gdw}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 로서 isoprene에 비해 아주 낮은 배출속도를 보였다.

활엽수의 isoprene 배출속도는 여름철에 높고 겨울

철에 가장 낮은 값을 보였는데, 이는 isoprene의 배출이 PAR의 강도 및 잎 온도와 밀접한 상관이 있기 때문이다. 활엽수에서 isoprene은 잎 온도가 높고 광합성이 활발한 시간대(13시~14시)에 가장 높은 배출속도를 보였으나 야간시간대에는 배출이 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 수목에서 isoprene 배출 자체가 광합성에 의한 것이므로 광합성에 필요한 PAR이 존재하는 주간에만 배출되는 것으로 추정된다.

활엽수에서 배출되는 monoterpene 성분은 침엽수와 비교하면 일부 성분만이 제한적으로 배출되는 것으로 확인되었으며, 확인된 monoterpene 성분들(α -pinene, β -pinene, d-limonene 및 camphene)의 배출 속도에서의 기여도는 침엽수의 경우에 비해 높은 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 제주녹색지원센터의 2008년도 연구개발 사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 국립환경연구원, 2005, 오존 및 스모그 오염개선기술, 대기 Inventory 작성과 배출계수 개발 및 오염배출량 산정연구, 133-1006.
 김은정, 정성원, 최근표, 함승시, 강하영, 1998, 솔잎 추출물의 in vitro계 암세포 성장 억제효과, 한국식품과

- 학회지, 30(1), 213-217.
- 나기정, 1998, 침엽수종으로부터 분리된 정유의 스트레스 완화효과, *Korean J. of Lab. Anim. Sci.*, 14(1), 93-96.
- 이기호, 김형철, 송승혁, 양기호, 2008, 제주지역 BVOCs의 배출량 산정을 위한 기초조사, 제주지역환경기술개발센터 보고서.
- 이상익, 신원섭, 권영문, 권현교, 2003, 산림 방향 물질이 불안감, 우울감에 미치는 영향, *한국산림휴양학회지*, 7(4), 25-29.
- 임업연구원, 1999, 소나무, 소나무림, 155-156.
- Arey, J., Winer, A. M., Atkinson, R., Aschmann, S. M., Long, W. D., Morrison, C. L., 1991, Terpenes emitted from agricultural species found in California's Central valley, *J. of Geophys. Res.*, 96(D5), 9329-9336.
- Cho, K. T., Kim, J. C., Hong, J. H., 2006, A Study on the Comparison of Biogenic VOC (BVOC) Emissions Estimates by BEIS and CORINAIR Methodologies, *J. of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(2), 167-177.
- Geron, C., Guenther, A. J., Greenberg, H., Loeschner, 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. B., Zimmerman, P. R., Harley, P. C., 1993, Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluations and sensitivity analysis, *J. Geophys. Res.*, 98(7), 12,609-12,617.
- 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.
- Guenther, A., Hewitt, N., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, 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. Geophys. Res.*, 100, 8873-8892.
- Harrison, D., Hunter, M. C., Lewis, A. C., Seakins, P. W., Nunes, T. V., Pio, C. A., 2001, Isoprene and monoterpene emission from the coniferous species *Abies Borisii-regis*-implications for regional air chemistry in Greece, *Atmos. Environ.*, 35, 4687-4698.
- Ji, D. Y., Kim, S. Y., Han, J. S., 2002, A study on the comparison to source profile of the major terpenes from pine tree and Korean pin tree, 18(6), 515-525.
- Karlik, J., Winer, A. M., 2001, Measured isoprene emission rates of plants in California landscapes. Comparison to estimates from taxonomic relationships. *Atmos. Environ.*, 35, 1123-1131.
- Kesselmeier, J., Bode, K., Schafer, L., Schebeske, G., Wolf, A., Brancaleoni, E., Cecinato, A., Ciccioli, P., Frattoni, M., Dutaur, L., Fugit, J. L., Simon, V., Torres, L., 1998, Simultaneous field measurements of terpene and isoprene emissions from two dominant mediterranean Oak species in relation to an relation to a north american species, National inventory of biogenic hydrocarbon emissions, *Atmos. Environ.*, 32(11), 1947-1953.
- 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.
- Kim, K. J., Kim, J. C., Lim, J. H., 2005, Comparison of Anthropogenic and Natural VOC concentrations in the forest ambient air, *J. of the Korean Society for Environmental Analysis*, 8(3), 132-136.
- Kim, S. Y., 2005, A study on the source characteristic of BVOCs from vegetation in Korea and implication on the ambient air - emphasizing on aldehyde compounds, Ph.D. Dissertation, Konkuk University.
- Kim, Y. K., 1998, The Bioactivities of the extractives from *Abies koreana wilson*, Ph.D. Dissertation, Kyengsang University.
- Kim, H. C., Lee, K. H., 2010, A study on emission rates of VOCs from conifers at Jeju Island, *J. of The Environmental Sciences*, 19(5), 627-637.
- Kim, J. C., Kim, K. J., Hong, J. H., Sunwoo, Y., Lim, S. G., 2004a, A Comparison Study on Isoprene Emission Rates from Oak Trees in Summer, *J. of Korean Society for Atmospheric Environment*, 20(1), 111-118.
- Kim, J. C., Hong, J. H., Gang, C. H., Sunwoo, Y., Kim, K. J., Lim, J. H., Lim, S. G., 2004b, Comparison of Monoterpene Emission Rates from Conifers, *J. of*

- Korean Society for Atmospheric Environment, 20(2), 175-183.
- Lerdau, M., Keller, M., 1997, Controls on isoprene emission from trees in a subtropical dry forest, *Plant, Cell and Environ.*, 20, 569-578.
- Lim, Y. J., 2005, A comparison study on Isoprene emission rates from deciduous trees in Korea, Master Dissertation, Konkuk University.
- Padby, P. K., Varshney, C. K., 2005, Isoprene emission from tropical tree species. *Environ., Pollution*, 135, 101-109.
- Pier, P. A., 1995, Isoprene emission rates from northern red oak using a whole-tree chamber, *Atmos. Environ.*, 29(12), 1347-1353.
- Rinne, H. I., Guenther, A. B., Greenberg, J. P., Harley, P. C., 2002, Isoprene and monoterpene fluxes measured above Amazonian rainforest and their dependence on light and temperature, *Atmos. Environ.*, 36, 2421-2426.
- Son, Y. S., Kim, J. C., Kim, K. J., Lim, Y. J., Sunwoo, Y., Hong, J. H., 2006, A Comparison Study on Isoprene Emission Rates from White Oak, *J. of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(6), 791-798.
- 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. Phys*, 2005, 989-998.