

## 갈참나무로부터 발생하는 이소프렌의 배출속도 비교 연구

### A Comparison Study on Isoprene Emission Rates from White Oak

손윤석 · 김조천\* · 김기준 · 임용재<sup>1)</sup> · 선우 영 · 홍지형<sup>2)</sup>

건국대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>국립환경과학원 대기환경과,

<sup>2)</sup>국립환경과학원 대기총량과

(2006년 7월 5일 접수, 2006년 11월 27일 채택)

Youn-Suk Son, Jo-Chun Kim,\* Ki-Joon Kim, Yong Jae Lim,<sup>1)</sup>  
Young Sunwoo and Ji-Hyung Hong<sup>2)</sup>

*Department of Environmental Engineering, Konkuk University*

<sup>1)</sup>*Air Quality Division, Environmental Diagnostics Research Department,  
National Institute of Environmental Research*

<sup>2)</sup>*Air Pollutant CAP System Division, National Institute of Environmental Research*

(Received 5 July 2006, accepted 27 November 2006)

### Abstract

In order to investigate the NVOC (Natural Volatile Organic Compound) emissions from White Oak, the emission rates of isoprene were measured according to season, weather conditions, and the age of the tree. The analysis of seasonal emission rates showed that the emission rates were the highest during summer followed by spring and fall. The emission rates during summer were found to be nearly 8 times greater than those during fall. In addition, it was observed that the emission rates of isoprene depends on PAR and temperature. Moreover, the effect of age on the emission rates was studied, and the White Oak in the age range of 21 ~ 30 had higher emission rates than that in the range of 41 ~ 50. Accordingly, the current result indicates that the isoprene emissions are affected by both meteorological parameter and the age of a tree.

**Key words :** Isoprene, Emission rates, PAR, White Oak, *Quercus aliena* Blume

### 1. 서 론

휘발성유기화합물 (VOC)은 환경대기 (ambient atmosphere)에 있어 매우 중요한 대기오염물질이다.

자연적, 인위적으로 생성된 VOC는 질소산화물 (NOx)과 광화학반응을 통하여 오존을 생성시키므로 도시지역에서 효율적 공기질 개선 방안을 마련하기 위해 이들 전구체들의 정확한 배출량 조사가 요구된다 (Wang *et al.*, 2003). VOC는 발생원에 따라 인위적인 VOC (Anthropogenic VOC)와 자연적인 VOC (Natural VOC: NVOC)로 나뉜다. NVOC에 대해서는

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)2-450-4009, E-mail : jckim@konkuk.ac.kr

인위적인 VOC보다 다소 늦게 인식되어 1970년대부터 나무, 초지 등의 식물류로부터 이소프렌 (isoprene), 모노테르펜 (monoterpene)류의 화합물이 배출된다는 사실이 밝혀지는 것을 시작으로 그 중요성이 날로 더해가고 있다 (Dimitriades, 1981). NVOC는 전 지구적 대기화학반응, 광역적 광화학산화제의 형성, 탄소순환의 수지균형, 비도시지역의 산성침적에 기여하는 유기산의 생성 등에 주요한 영향을 끼친다 (Geron *et al.*, 2002; Nunes and Pio, 2001; Trapp *et al.*, 2001; Arey *et al.*, 1995; Pier, 1995; Finlayson-Pitts and Pitts, 1993). 비록 현재까지 전지구적 VOC량이 명확하게 산정되지 못했지만, 여러 선행연구에 의하면 NVOC량이 인위적인 VOC의 배출량보다 높다고 알려져 있고 (Guenther *et al.*, 1995; Müller, 1992; Singh and Zimmerman, 1992; Lamb *et al.*, 1987; Zimmerman, 1979), 이 중에서 이소프렌과 모노테르펜이 전체에서 차지하는 비율은 각각 44%와 11%로 추정되고 있다 (Guenther *et al.*, 1995).

이러한 NVOC 성분들의 배출기여도는 식물의 종류와 외부환경조건에 의해서 현저히 변화될 수 있다. 예를 들어, 유효 광합성량 (Photosynthetically Active Radiation: PAR)과 온도에 의해서도 그 배출량이 상당 수준 변화할 수 있다는 것이 확인되었다 (Arey *et al.*, 1995; Guenther *et al.*, 1991; Tingey, 1981; Rasmussen and Jones, 1973). 미국과 유럽을 중심으로 한 선진 외국의 경우 여러 수종에 대한 배출특성 연구들이 1980년대 이후 꾸준히 진행되고 있다. 특히, 낙엽수에서 배출되는 이소프렌에 대한 측정방법과 배출량을 제어하는 환경적 인자들의 계절적 다양성 등도 관심 있는 연구의 대상이다 (Staudt *et al.*, 1997). 우리나라의 경우 인위적인 배출원에 대한 자료는 몇 년 전부터 구체적인 배출원별 배출실태 파악이 이루어지고 있지만, NVOC 배출량의 측정 및 추정이 매우 미흡한 실정이다. 지금까지 우리나라 NVOC 배출량은 외국자료에 의존하여 추정되어 왔다. 최근, 참나무

과 수종을 대상으로 여름철 이소프렌 배출속도를 비교한 바 있으나 (김조천 등, 2004), 이는 여름철에 국한된 자료로 우리나라 특성에 맞는 NVOC 배출특성 연구가 주요 수종에 대하여 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 낙엽수림의 약 85% 이상을 차지하는 참나무과 수종 중 갈참나무 (*Quercus aliena* Blume)로부터 배출되는 이소프렌의 배출속도를 측정하고, 이소프렌의 계절별, 기상별, 수령별 배출 특성을 비교 연구하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 수종의 선택 및 실험 조건

우리나라의 전 국토면적은 총 9,960,000 ha이고 이 중에서 산림면적이 약 64%를 차지하고 있다. 전체 산림면적에서 활엽수림이 29%를 차지하고 있으며, 전국적으로 볼 때 대표적인 수종은 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carruthers), 굴참나무 (*Quercus variabilis* Blume), 졸참나무 (*Quercus serrata* Thunberg), 갈참나무 (*Quercus aliena* Blume)이다. 본 연구의 대상수종인 갈참나무는 실험 대상지역인 충북 지방에서 전체 활엽수 중에서 약 6.3%의 면적을 차지한다 (산림청, 2004).

갈참나무로부터 배출되는 이소프렌의 배출속도 측정은 충청북도 월악산 국립공원 일대 (Site 1: N 36° 50'29.6", E 128° 05'44.6", Site 2: N 36° 50'58.3", E 128° 05'23.8")에서 이루어졌다. 이 지역은 기후가 여름에 고온다습하고 겨울은 한랭 건조한 온대 몬순기후로서 계절의 변화가 뚜렷하여 갈참나무의 계절별 이소프렌의 배출속도 측정 및 비교에 있어 적절하다고 판단된다. 실험기간 동안의 온도, PAR 등을 포함하는 상세 실험조건은 표 1과 같다.

Table 1. Details of deciduous Trees investigated at the sites of concern.

Species	Region	Season	Period (yymmdd)	Age	n*	Temperature range (°C)	PAR range ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
<i>Q. aliena</i> B.	Worak Mt.	Spring	030513~030630	3~5	31	24.1~35.6	124~2,270
		Summer	030804~030827	3	31	22.3~37.4	140~1,745
		Fall	030929~031024	2~3	26	18.2~36.3	24~1,954

\*: number of samples

## 2.2 실험 장치 및 샘플링 방법

앞으로부터 배출되는 NVOC 시료를 채취하기 위한 방법으로 기존의 semi-static enclosure나 dynamic flow-through chamber 등의 문제점을 보완한 enclosure chamber system을 사용하였다(김조천 등, 2004; Kim, 2001a). 본 연구에 사용된 enclosure chamber system은 선행연구를 통하여 기존에 사용된 시료채취 방법에 비해 NVOC의 배출속도에 대한 정확도 및 정밀도 평가에 있어서 뛰어나다는 점이 검증되었다(Kim, 2001b). 제로에어시스템(Zero air system; Model 701, API, USA)을 사용하여 제로에어를 챔버(chamber)에 공급시키고 동시에 유출구에서 진공펌프(N035.1.2AN.18, Neuberger, USA)를 사용하여 유입구와 동일한 유량으로 흡입시켜 챔버 안의 유량을 평형으로 유지하였다(Kim, 2001b). 이 때 system에서의 모든 유량은 유량조절기(Mass Flow Controller, GMATE, Germany)를 사용하여 5 L/min으로 조절하였다.

NVOC를 효과적으로 샘플링하기 위하여 특성이 다른 두 가지의 흡착제를 이용한 이중흡착트랩이 사용되었다. 이중흡착트랩은 Tenax TA (60/80 mesh, SUPELCO, USA)와 Carbotrap™ (20/40 mesh, SUPELCO, USA)을 채운 파이렉스 튜브(pyrex tube) 재질을 이용하여 제작하였고(Komenda *et al.*, 2001; Kesselmeier *et al.*, 1996), 시료채취 유량은 50 mL/min이었다.

## 2.3 분석방법

채취된 시료들은 4°C 이하의 냉장고에 보관한 후 48시간 이내에 분석하도록 하였고, 정성분석을 위해서 자동열탈착 시스템(Aerotrapp 6000, Tekmar, USA)과 GC/MSD(HP Modle 6890/5973, USA) 시스템이 사용되었다. 정량분석을 위해서는 정성분석 때와 동일한 자동열탈착 장치가 연결된 GC/FID(HP5890, USA)시스템이 사용되었다. 기타 분석조건은 기 연구에 제시된 조건(김조천 등, 2004)과 동일하다.

## 2.4 측정 및 분석방법의 정도 관리

본 연구에서는 검량선을 작성하기 위하여 Dynacalibrator(VICI Metronics Inc., USA)를 사용하였으며 검출한계(Below Detection Limit, 3 standard deviation)는 0.37 ng 이하로 나타났고, 분석 정밀도(Precision)

는 상대표준편차(RSD) 값이 10% 내외로 나타났다. 이소프렌의 검량선을 작성한 결과, 이소프렌의 결정계수( $r^2$ ) 값은 0.999이었다. 또한, 신뢰성 있는 자료를 얻기 위하여 샘플링 과정에서 동일한 가지를 대상으로 중복실험(Duplicate sampling)이 수행되었으며, 중복분석 정밀도는 11.4% ( $n=3$ )이었고, 이 값은 자연의 식생을 대상으로 했다는 점에서 재현성이 있다고 사료된다.

## 2.5 배출속도(Emission Rate)의 계산

실험을 통하여 발생하는 이소프렌의 양은 단위 시간당 단위 건중량당 발생하는 탄소의 양( $\mu\text{gC/gdw/hr}$ )으로 표현되었고, PAR와 온도는 두 개의 함수를 결합한  $C=C_L C_T$ 로 표현하였다(Simon *et al.*, 2001). 일반적으로 온도와 PAR에 따른 이소프렌의 배출속도에 대한 식은 여러 가지가 있지만 가장 많이 사용되는 식은 다음과 같다(Guenther *et al.*, 1993, 1991).

$$ER=ER_s \times (C_L \cdot C_T) \quad (1)$$

ER=emission rate

ER<sub>s</sub>=emission rate at the standard temperature (30°C) and PAR flux ( $1,000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

C<sub>L</sub>=light correction factor

C<sub>T</sub>=temperature correction factor

또한, 실험의 결과들은 표준조건(온도: 30°C, PAR:  $1,000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )의 값인 ER<sub>s</sub>(Standard Emission Rate)로 나타내었다(Geron *et al.*, 2002; Owen *et al.*, 2001).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 계절에 따른 배출속도 비교

그림 1은 계절에 따른 갈참나무에서의 이소프렌 배출속도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 봄철 갈참나무의 배출속도 측정결과는 그림 1(a)와 같이 ER<sub>s</sub> 값이 63.8 ( $\mu\text{gC/gdw/hr}$ )로 나타났고,  $r^2$ 값은 0.807로 나타나 자연을 대상으로 하는 실험임에도 불구하고 높은 상관관계를 가지는 것을 볼 수 있었다. 그림 1(b)는 갈참나무의 여름철 ER<sub>s</sub>값과  $r^2$ 값을 나타낸 것으로써 각각 78.8 ( $\mu\text{gC/gdw/hr}$ )과 0.775로 봄철과 마

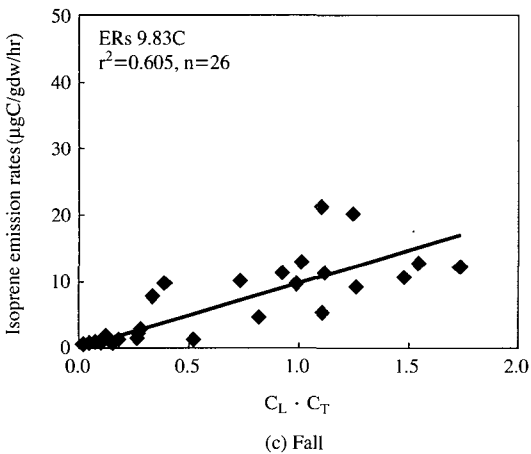
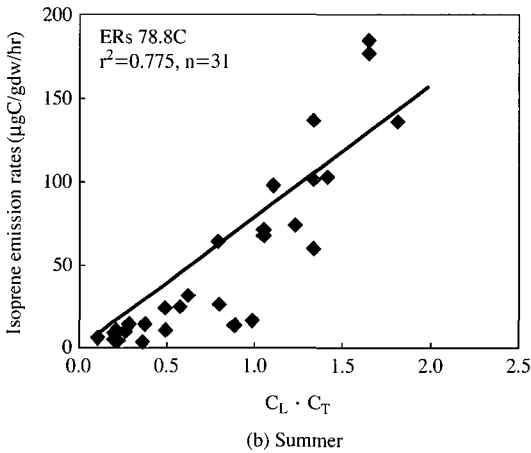
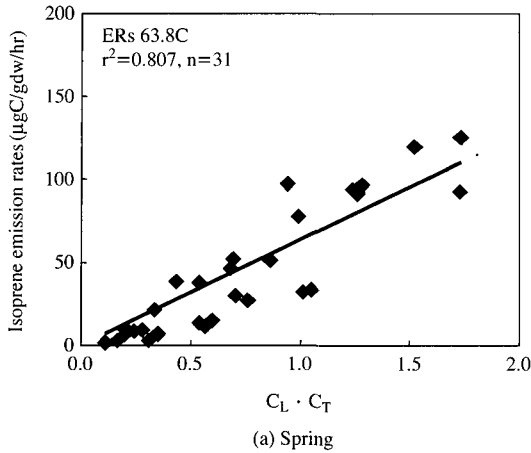


Fig. 1. Seasonal variations of isoprene ERs by  $C_L \cdot C_T$  for *Q. aliena* B. at the Worak mountain site.

찬가지로 높은 상관관계를 나타내었다. 그러나 갈참나무의 가을철 ERs값과  $r^2$ 값은 각각 9.83 ( $\mu\text{gC/gdw/hr}$ )과 0.605로서 봄철이나 여름철과 비교하여 낮은 것을 관찰할 수 있었다(그림 1(c)).

본 연구를 통한 갈참나무의 계절별 배출속도를 비교한 결과, 봄철과 여름철의 ERs값은 각각 63.8 ( $\mu\text{gC/gdw/hr}$ )과 78.8 ( $\mu\text{gC/gdw/hr}$ )로 큰 차이가 나타나지는 않았으나 봄철보다는 여름철의 배출속도가 다소 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 봄철과 여름철의 경우와는 다르게 가을철의 경우는 ERs 값이 봄철과 여름철에 비해 1/7~1/8배 정도의 낮은 배출속도를 나타내는 것을 알 수 있었다. 가을철의 ERs가 봄철이나 여름철의 ERs보다 낮은 값을 나타내는 것은 갈참나무의 경우 가을에는 잎이 떨어지는 낙엽수이기 때문이라 사료된다.  $r^2$ 값은 봄, 여름, 가을 순서대로  $0.807 > 0.775 > 0.605$ 로 점점 작아지는 것을 알 수 있었다. 이는 계절에 따른 배출속도 영향인자가 다소 상이함을 시사해주고 온도와 PAR에 일반적으로 비례하는 값을 얻는 것으로 사료된다. 또한, 식생에서의 이소프렌의 배출은 대부분 잎에서 이루어지므로, 본 연구에서 겨울철에 대한 연구는 갈참나무가 겨울철에는 잎을 갖고 있지 않는 낙엽수라는 점을 감안하여 이소프렌의 배출이 없거나 희박할 것으로 사료되어 실험 대상에서 제외되었다. 실제 외국의 선행연구에서도 이와 같은 계절에 따른 식물의 성장이나 계절적인 변화가 이소프렌 배출에 많은 영향을 주는 것으로 보고되고 있다 (Robertson *et al.*, 1995).

### 3.2 기상조건에 따른 배출속도 비교

그림 2는 각 계절별 갈참나무의 이소프렌 배출특성을 PAR와 온도의 변화에 따른 ER (Emission Rate) 값으로 나타내었다. 갈참나무의 계절별 기상조건에 따른 이소프렌의 배출특성은 PAR와 온도의 변화에 따라 이소프렌의 배출이 급격히 증가하거나 감소하는 특성을 확인할 수 있었다. 이러한 연구결과는 갈참나무의 이소프렌 배출특성이 온도와 PAR라는 두 인자에 모두 깊은 상관성이 있음을 나타내 주고 있다.

본 연구결과에서, 낙엽수림에 속하는 수종의 이소프렌 배출특성은 PAR와 온도에 가장 큰 영향을 받는다는 외국의 여러 연구사례와 일치하는 것을 알

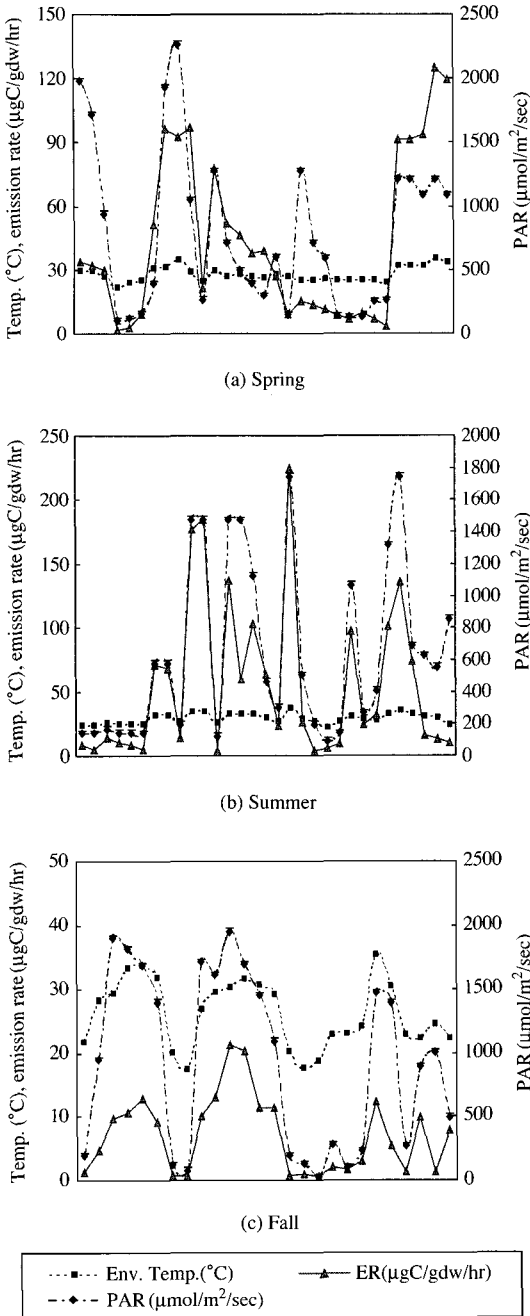


Fig. 2. Seasonal variations of isoprene ER by PAR and temperature (°C) at the Worak mountain site.

수 있다(Trapp *et al.*, 2001; Arey *et al.*, 1995; Guenther *et al.*, 1991).

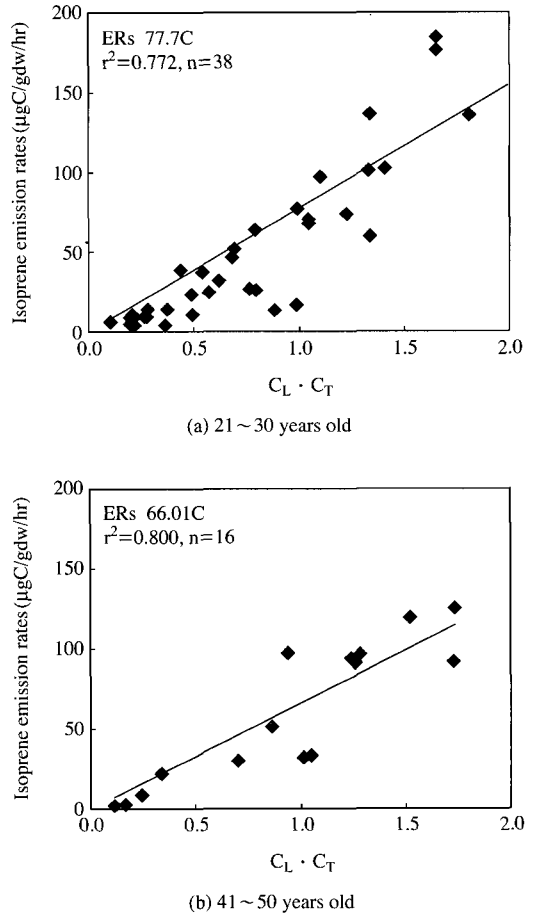


Fig. 3. Comparison of isoprene emission rates by the age of *Q. aliena* B. at the Worak mountain site.

### 3.3 수령에 따른 배출속도 비교

갈참나무의 수령에 따른 이소프렌 배출속도를 알아보기 위하여 본 연구에서는 갈참나무 3령(21~30)과 5령(41~50)의 이소프렌 배출속도를 비교연구하였다. 그림 3은 갈참나무 3령과 5령의 배출속도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 그림 3에 따르면 갈참나무의 수령별 배출속도는 3령(77.7 µgC/gdw/hr)이 5령(66.0 µgC/gdw/hr)보다 높게 나타나는 것으로 나타났다,  $r^2$ 값은 5령이 0.800으로 0.772로 나타난 3령에 비해 다소 높게 나타난 것을 볼 수 있었다. 수령에 따른 이소프렌 배출특성을 고찰한 결과, 갈참나무는 어린 나무에서 이소프렌의 배출속도가 높게 나타났고, 이러한 결과는 어린 나무의 성장활동이 더 활

발하게 진행되기 때문에 3령의 배출속도가 5령에 비해 높게 나타나는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 참나무과에 속하는 수종은 아니지만, 유칼립투스류의 수령에 따른 배출특성을 연구한 선행연구와 비슷한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다(Kim *et al.*, 2005; Nunes and Pio, 2001). 하지만 본 연구의 신뢰성을 높이기 위해서는 좀더 강도 높은 낙엽수림에 관한 연구가 지속적으로 수행되어야 한다고 사료된다.

### 3.4 타 연구와의 비교

표 2는 참나무과에 속하는 나무를 대상으로 연구한 외국의 사례들과 본 연구의 결과를 비교한 것이다. 외국과는 수종이 다르므로 절대적인 비교는 불가능하지만 같은 참나무과에 포함되는 것이므로 비교의 의미는 있다고 판단된다. 본 연구에 의해 수행되어진 갈참나무의 경우, 외국의 다른 사례들과 비슷한 범주의 값을 나타냈고, 특히, Klinger *et al.* (2002)에 의해 수행되어진 연구결과 65.5 (µgC/gdw/hr)와 거의 유사한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

**Table 2. Comparison of emission rates from oak trees with other studies.**

Species	Researcher	Isoprene ERs* (µgC/gdw/hr)
<i>Q. aliena</i> B.	This research (2003)	9.08~78.8
<i>Q. aliena</i> G.	Klinger <i>et al.</i> (2002)	65.5
<i>Q. agrifolia</i>	Kesselmeier <i>et al.</i> (1996)	15.2~38.7
	Geron <i>et al.</i> (2001)	77
<i>Q. alba</i>	Geron <i>et al.</i> (2001)	92
<i>Q. chrysolepis</i>	Karlik and Winer (2001)	16.7
<i>Q. dentate</i>	Klinger <i>et al.</i> (2002)	32.1
<i>Q. douglasii</i>	Karlik and Winer (2001)	23.8
<i>Q. ilex</i>	Kesselmeier <i>et al.</i> (1996)	10.1~15.6
<i>Q. kelloggii</i>	Karlik and Winer. (2001)	47.6
<i>Q. laevis</i>	Geron <i>et al.</i> (2001)	151
<i>Q. liaotungensis</i>	Klinger <i>et al.</i> (2002)	98.9
<i>Q. palastris</i>	Karlik and Winer (2001)	23.8
<i>Q. phellos</i>	Geron <i>et al.</i> (2001)	93
<i>Q. prinus</i>	Geron <i>et al.</i> (2001)	44
	Owen <i>et al.</i> (2001)	66~72
<i>Q. pubescens</i>	Kesselmeier <i>et al.</i> (1996)	37.1~51.5
<i>Q. rubra</i>	Geron <i>et al.</i> (2001)	67
<i>Q. stellata</i>	Geron <i>et al.</i> (2001)	73
<i>Q. variabilis</i>	Klinger <i>et al.</i> (2002)	65.5
<i>Q. velutina</i>	Geron <i>et al.</i> (2001)	157

## 4. 결 론

본 연구는 국내의 주요 낙엽수림 중 하나인 갈참나무에서 배출되는 이소프렌의 배출특성을 이해하고 배출속도를 산정하기 위하여 수행되었다. 계절, 기상 조건, 수령에 따른 배출속도 비교연구를 수행한 결과 다음과 같은 이소프렌 배출특성을 고찰할 수 있었다. 계절에 따른 갈참나무의 배출 특성을 관찰한 결과, 여름 (78.8 µgC/gdw/hr) > 봄 (63.8 µgC/gdw/hr) > 가을 (9.83 µgC/gdw/hr) 순으로 이소프렌 배출속도가 높게 나타났고, 가을철 ERs가 여름철에 비해 1/7배 정도 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 갈참나무의 이소프렌 배출은 PAR와 온도에 큰 영향을 받는 것으로 나타났고, 3령 (77.7 µgC/gdw/hr)과 5령 (66.0 µgC/gdw/hr)의 갈참나무를 대상으로 수령별 이소프렌 배출특성을 비교한 결과 3령 갈참나무의 ERs가 큰 것으로 확인되었다. 이런 연구 결과를 바탕으로 참나무속에 속하는 나무를 대상으로 선행된 외국사례와 비교해 본 결과, 본 연구의 결과가 외국의 배출속도와 비슷한 범주의 값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 특히, 중국 북경에서 수행되어진 연구결과와 거의 유사한 값을 얻을 수 있었다. 이 연구를 바탕으로 향후 수령에 따른 이소프렌의 배출속도에 대한 비교 연구는 신뢰성을 갖기 위하여 지속적인 연구가 수행되어야 하고 기타 다양한 국내 수종의 낙엽수림에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업 (Eco-technopia 21 project)”으로 지원받은 과제입니다.

## 참 고 문 헌

김조천, 김기준, 홍지형, 선우 영, 임수길 (2004) 여름철 참나무속의 이소프렌 배출특성 비교에 관한 연구, 한국대기환경학회, 20(1), 111-118.  
 산림청 (2004) 2004 통계 연보, 산림청, 14pp.  
 Arey, J., D.E. Crowley, M. Crowley, M. Resketoa, and J.

- Lester (1995) Hydrocarbon emissions from natural vegetation in California's south coast air basin, *Atmospheric Environment*, 29(21), 2977-2988.
- Dimitriadis, B. (1981) The Role of Natural Organics in Photochemical Air Pollution. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 31, 229-235.
- Finlayson-Pitts, B.J. and J.N.N. Pitts (1993) Atmospheric chemistry of tropospheric ozone: scientific and regulatory implications, *J. Air Waste Man. Ass.*, 43, 1091-1100.
- Geron, C., P. Harley, and A. Guenther (2001) Isoprene emission capacity for US tree species, *Atmospheric Environment*, 35, 3341-3352.
- Geron, C., A. Guenther, J. Greenberg, H.W. Loeschner, D. Clark, and B. Baker (2002) Biogenic volatile organic compound emissions from a lowland tropical wet forest in Costa Rica, *Atmospheric Environment*, 36, 3793-3802.
- Guenther, A., R. Monson, and R. Fall (1991) Isoprene and monoterpene emission rate variability: observations with eucalyptus and emission rate algorithm development. *J. Geophys. Res.*, 96, 10799-10808.
- Guenther, A.P., P. Zimmerman, R. Harley, R.K. Monson, and R. Fall (1993) Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluation and sensitivity analysis. *J. Geophys. Res.*, 98D, 12609-12617.
- Guenther, A.B., C.N. Hewitt, D. Erickson, R. Fall, C. Geron, T. Graedel, P. Harley, L. Klinger, M. Lerdau, W.A. MacKay, T. Pierce, B. Scholes, R. Steinbrecher, R. Tallamraju, J. Taylor, and P.R. Zimmerman (1995) A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research* 100(D5), 8873-8892.
- Karlik, J.F. and A.M. Winer (2001) Measured isoprene emission rates of plants in California landscapes: comparison to estimates from taxonomic relationships, *Atmospheric Environment*, 35, 1123-1131.
- Kesselmeier, J., L. Schafer, P. Ciccioli, E. Brancaleoni, A. Cecinato, M. Frattoni, P. Foster, V. Jacob, J. Denis, J.L. Fugit, L. Dutaur, and L. Torres (1996) Emission of monoterpenes and isoprene from a Mediterranean oak species *Quercus ilex* L. measured within the bema (Biogenic emissions in the Mediterranean area) project, *Atmospheric Environment*, 30(10-11), 1841-1850.
- Kim, J.C. (2001a) Factors controlling natural VOC emissions in a southeastern US pine forest, *Atmospheric Environment*, 35, 3279-3292.
- Kim, J.C. (2001b) Development of a Novel Sampling Technique for Natural VOC emissions, *J. Korean Society for Atmospheric Environment*, 17(E2), 61-70.
- Kim, J.C., K.J. Kim, D.S. Kim, and J.S. Han (2005) Seasonal variations of monoterpene emissions from coniferous trees of different ages in Korea, *Chemosphere*, 59(11), 1685-1696.
- Klinger, Li, Q.-J., A.B. Guenther, J.P. Greenberg, B. Baker, and J.-H. Bai (2002) Assessment of volatile organic compound emissions from ecosystems of China, *Journal of Geophysical Research*, 107(D21), 4603-4624.
- Komenda, M., E. Parusel, A. Wedel, and R. Koppmann (2001) Measurements of biogenic VOC emissions: sampling, analysis, and calibration, *Atmospheric Environment*, 35, 2069-2080.
- Lamb, B., A.B. Guenther, D. Gay, and H. Westberg (1987) A national inventory of biogenic hydrocarbon emissions. *Atmospheric Environment* 21(8), 1695-1705.
- Müller, J.-F. (1992) Geographical distribution and seasonal variation of surface emissions and deposition velocities of atmospheric trace gases. *Journal of Geophysical Research* 97(D4), 3787-3804.
- Nunes, T.V. and C.A. Pio (2001) Emission of volatile organic compounds from Portuguese eucalyptus forests, *Chemosphere-Global Change Science*, 3, 239-248.
- Owen, S.M., C. Boissard, and C.N. Hewitt (2001) Volatile organic compounds (VOCs) emitted from 40 Mediterranean plant species: VOC speciation and extrapolation to habitat scale, *Atmospheric Environment*, 35, 5393-5409.
- Pier, P.A. (1995) Isoprene emission rates from northern red oak using a whole-tree chamber, *Atmospheric Environment*, 29(12), 1347-1353.
- Rasmussen, R.A. and C.A. Jones (1973) Emission of isoprene from leaf discs of *Hammameis*, *Photochem*, 12, 15-19.
- Robertson, G.W., D.W. Griffiths, J.A.T. Woodford, and A.N.E. Birch (1995) Changes in the chemical composition of volatiles released by the flowers and fruits of the red raspberry (*Rubus idaeus*) cultivar glen prosen, *Phytochemistry*, 38, 1175-1179.
- Simon, V., L. Luchetta, and L. Torres (2001) Estimating the emission of volatile organic Compounds (VOC) from the French forest ecosystem, *Atmospheric Environment*, 35(1), S115-S126.
- Singh, H.B. and P.B. Zimmerman (1992) Atmospheric distribution and sources of non-methane hydrocarbons.

- In: Nriagu, J.O., Editor, 1992. Gaseous Pollutants: Characterisation and Cycling, Wiley, New-York, 177-235.
- Staudt, M., N. Bertin, U. Hansen, G. Seufert, P. Ciccioli, P. Foster, B. Frenzel, J.-L. Fugit, and L. Torres (1997) The BEMA-project: seasonal and diurnal patterns of monoterpene emissions from *Pinus pinea* (L.), Atmospheric Environment, 31, 145-156.
- Tingey, D.T. (1981) The effect of environmental factors on the emission of biogenic carbons from live oak and slash pine, In "Atmospheric Biogenic Hydrocarbons" (J.J. Bufalini and R.R. Arnts, eds.) Vol. 1, Emissions, 53-79.
- Trapp, D., K.M. Cooke, H. Fischer, B. Bonsang, R.U. Zitzelsberger, R. Seuwen, C. Schiller, T. Zenker, U. Parchatka, T.V. Nunes, C.A. Pio, A.C. Lewis, P.W. Seakins, and M.J. Pilling (2001) Isoprene and its degradation products methyl vinyl ketone, methacrolein and formaldehyde in a eucalyptus forest during the FIELDVOC '94 campaign in Portugal, Chemosphere-Global Change Science, 3, 295-307.
- Wang, Z., Y. Bai, and S. Zhang (2003) A biogenic volatile organic compounds emission inventory for Beijing, Atmospheric environment, 37, 3771-3782.
- Zimmerman, P.R. (1979) Testing of Hydrocarbon Emissions from Vegetation, Leaf Litter and Aquatic Surfaces, and Development of a Methodology for Compiling Biogenic Emission Inventories., EPA-450/4-79-004: U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).