

## 무등산 인공 침엽수림에서 테르펜과 기상인자의 상관성분석

이대행\* · 김민희<sup>1)</sup> · 서희정 · 민경우 · 김승호 · 서광엽 · 정원삼 · 강영주 · 안기완<sup>1)</sup> ·  
백계진 · 문용운 · 김은선

광주광역시 보건환경연구원, <sup>1)</sup>전남대학교 임학과  
(2012년 6월 26일 접수; 2012년 8월 24일 수정; 2012년 10월 18일 채택)

### Correlation Analysis Between Terpene and Meteorological Factors at Artificial Coniferous Forest of Mt. Moodeung

Dae-Haeng Lee\*, Min-Hee Kim<sup>1)</sup>, Hee-Jeong Seo, Gyung-Woo Min, Seung-Ho Kim,  
Kwang-Yeob Seo, Won-Sam Jeong, Young-Ju Kang, Ge-Jin Paik, Ki-Wan An<sup>1)</sup>,  
Yong-Woon Moon, Eun-Sun Kim

Public Health & Environment Institute of Gwangju, Gwangju 502-243, Korea

<sup>1)</sup>Faculty of Forest in Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

(Manuscript received 26 June, 2012; revised 24 August, 2012; accepted 18 October, 2012)

#### Abstract

There are many factors to influence the amount of terpene at the forest. However, it is poorly understood whether the amount is altered by meteorological factors. In order to study correlation analysis between terpene amount and meteorological(i.e., temperature, humidity, wind speed, solar radiation) and environmental factors(i.e., oxygen, carbon dioxide) at the artificial coniferous forest of *Chamaecyparis obtusa* (site 1) and *Cryptomeria japonica* (site 2) nearby the 1<sup>st</sup> reservoir at Mt. Moodeung, the research was executed during April to November in 2011. Forest density at site 1 was 1,692 trees/ha, being occupied with 87.2% of *Chamaecyparis obtusa*, higher than 925 trees/ha at site 2. Carbon dioxide at site 1 was in the range of 385~410 ppm in June, similar to at Anmyundo(395 ppm in 2010). Solar radiation has positive correlation with ambient temperature and inversely negative with relative humidity. Main species of terpene released were  $\alpha$ -pinene, camphene,  $\beta$ -pinene, cymene,  $\delta$ -limonene and camphor at two sites and terpene was more effluent at spring and summer than at fall. The large amount of terpene was emitted in the afternoon than in the morning under the influence of the wind speed and the topographical property. The terpene amount has positive correlation with relative humidity and oxygen, and negative with wind speed and soil temperature. Because correlations of  $\alpha$ -pinene and other terpene materials showed statistically significant within  $p=0.01$ .  $\alpha$ -pinene could be suggested as the basic material in explaining the amount of other terpene materials.

**Key Words** : Terpene, Correlation, Meteorological factor, Coniferous forest, Forest density

---

\*Corresponding author : Dae-Haeng Lee, Public Health &  
Environment Research Institute, Gwangju 502-243, Korea  
Phone: +82-62-613-7581  
E-mail: ldh0928@korea.kr

## 1. 서론

최근 급변하는 생활환경 변화와 치열한 경쟁구조, 업무과중 및 인간관계로 인한 스트레스로 정신질환자가 경증을 통틀어 20%에 육박한다는 사실은 과거 환경오염 문제로 인한 호흡기 질환 및 심폐질환 등의 사회문제에 버금가는 인간의 건강한 삶에 영향을 주는 요인이 되고 있다. 특히 청소년의 정신질환자가 해마다 늘어 병원치료를 받고 있는 수가 늘어가고 있는데, 이런 이유로 도시거주자들은 도시환경을 벗어나 자연을 통한 여가활동과 자연치유에 관심을 가지게 되었고, 과학적인 연구를 통해 건강증진의 효과가 입증된 산림휴양이 각광을 받는 이유이기도 하다(유, 2009).

자연을 이용한 프로그램화된 크나이프 요법과 같은 치료는 이미 19세기 말부터 독일이나 일본 등지에서 시행되고 있고, 의료보험까지 적용되는 치료요법으로 자리 잡고 있다(우에하라, 2007). 산림지역에서 수목이 자기보호를 위해 배출하는 휘발성 유기화합물 중에서 질병의 치유효과가 있는 테르펜은 대표적인 피톤치드 물질로 알려져 있다(김 등, 2004). 테르펜은 주로 침엽수에서 많이 배출되는 것으로 알려져 있는데, 수종별 차이 이외에도 온도, 습도, 빛 등의 여러 환경인자의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Harrison 등, 2001; Staudt 등, 1997). 2000년대 초반까지는 주로 금성산, 지리산 등에서 소나무, 리기다소나무, 잣나무 등의 수종별 테르펜 물질 배출특성을 조사하기 위해 엽생체량과 엽면적을 측정하고, chamber 내에서 정량적인 테르펜 배출속도를 측정하는 연구 등이 수행되어 왔다(김 등, 2004; 지 등 2002; 임, 2004; 김 2001a; 김 2001b).

최근 들어 지역별 산림이나 휴양림 등에서 테르펜량을 직접 측정하여 주민에게 알려줌으로서 건강증진을 목적으로 대상지역을 찾는 관광객을 확보하려는 노력이 지역별로 경쟁적으로 추진되고 있다. 특히 전남지역의 장흥 우드랜드, 장성 축령산, 지리산, 덕유산, 제주 한라산, 남해, 강원도 유령산 등에 대한 테르펜 조사가 지속적으로 이루어지고 있다.

더불어서 산림이 인간의 심적 평안과 안정감을 갖게 해준다고 밝히고, 숲에서의 활동이나 산책로 걷기 운동이 긴장이완과 스트레스 감소를 통하여 혈압과

맥박수를 저하시키는 효과가 있으며, 숲에서 발생하는 방향성 물질인 테르펜이 항생과 방향, 항종양성, 혈압 강하 등의 다양한 인체보건 효과가 있고, 산림휴양이 사람들의 우울증을 현저하게 감소시켜 자아실현에서 긍정적인 변화를 가져다준다는 것을 밝히는 다양한 연구들이 수행되었다(김, 2006; 박, 2006; 김 등, 2007; 신 등 2007; 송, 2008).

밀폐된 공간에서 휘발성유기화합물(VOCs)과 온·습도 등과의 상관성 연구는 다소 수행되어 실험실적인 연구결과는 어느 정도 가지고 있다(지 등, 2002; 임, 2004). 그러나 열린 공간으로서 자연의 숲 현장에서 테르펜과 기상인자 및 환경인자 간의 상관성 연구 등에 대한 자료는 매우 부족한 실정이다. 특히, 지형이나 수종 구성에 대한 테르펜의 발생량과 기상인자나 환경인자와의 상관성 연구 등은 미미한 실적이다. 광주의 무등산은 연간 6~7백만명의 등산객이 건강을 위해 찾는 호남의 주요 탐방로이고, 이에 대한 테르펜 등의 건강치유인자에 대한 연구는 전혀 되어 있지 않다. 따라서 무등산 편백과 삼나무 인공림에서 테르펜의 월별, 시간별 발생특성과, 테르펜과 기상인자나 환경인자와의 상관성 및 테르펜 물질간의 상관성 분석을 통하여 치유인자 발생특성을 파악함으로써 녹색 생태환경 조성을 위한 정책 수립 자료로 활용하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 기간

무등산은 소백산맥의 줄기를 따라 호남정맥에 속한다고 하며, 행정구역상 광주광역시 동구와 북구, 전라남도 담양군과 화순군에 위치하고 있다(박 등, 1999). 조사지점은 무등산 제1수원지 주변 편백(Site 1)과 삼나무(site 2)의 인공림이고 Fig. 1과 같다. 조사지점에 대하여 2011년 4월부터 11월까지 월별, 시간별 테르펜 발생량과 기상 및 환경인자의 변화에 대하여 조사하였고, 식생의 종구성과 임황에 대한 현장조사를 수행하여 테르펜 발생량에 대한 영향을 비교분석하였다. 조사지점인 편백림과 삼나무림 인공식생지역의 고도는 각각 163 m, 155 m이고, 대기압은 984~1013 hPa 범위로 유사하였다.

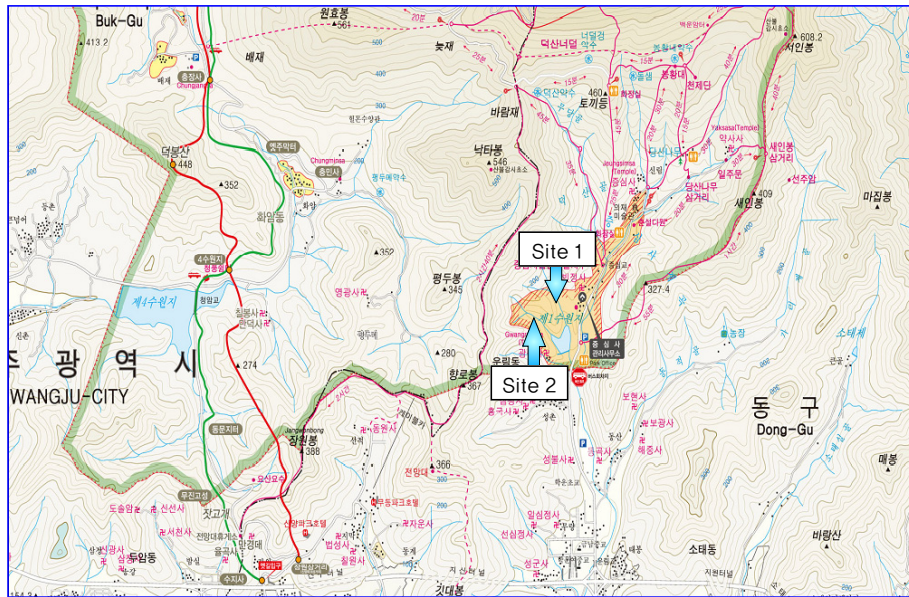


Fig. 1. Sampling sites at the 1<sup>st</sup> reservoir of Moodeung Mt.

2.2. 분석방법 및 항목

대상지에서 3개의 방형구(20 m×20 m)를 설치하고 식생조사를 실시하였으며, 자연상태에서 수목으로부터 방출되어 공기 중으로 확산되는 테르펜 성분과 기상 및 대기인자와의 상관성 분석을 위하여 온도, 습도, 지중온도, 일사량, 풍속, 산소, 이산화탄소 등을 연속적으로 측정하였는데 태양광 발전설비를 이용하였다. 테르펜 성분의 포집을 위해서는 대상지 중앙의 지상 1.5m 높이에 Tenax TA(150 mg)와 Carbopack B(130 mg)가 충전된 Stainless steel tube(Φ 5 mm, L 90 mm)가 장착된 자동시료채취기를 사용하였고, 100 ml/min

의 유속으로 시간별 조사는 오전 10시부터 익일 오전 10시까지 2시간 간격으로 24시간 동안, 월별조사는 오전 10시부터 오후 8시까지 각 시료당 12 L씩 연속적으로 테르펜을 흡착하고 흡착관의 양쪽을 밀봉한 후 저온 저장하여 최대한 빨리 열탈착장비와 GC/MS를 이용하여 분석하였다(지 등, 2002). 온·습도, 이산화탄소 등의 기상 및 환경인자는 5분 간격으로 측정하여 2시간 동안의 최대, 최소, 평균값을 산정하여 테르펜 생성량과의 상관성을 비교하였다. 이산화탄소와 산소는 숲의 광합성과 호흡작용에 의해 소비되고 발생하는 물질로서 지구온난화 및 생체활성과 관련된

Table 1. Analytical methods and analyzer for materials

Materials	Analytical methods	Analyzer/Maker
Air temperature	Temperature sensor	Almemo-2890 data logger/Ahlborn
Soil temperature	Temperature sensor	
Relative humidity	Humidity sensor	
Gloval radiation	Radiation sensor	
Wind speed	wind speed sensor	
Oxygen	Electronic chemistry	
Carbon dioxide	Nondisperse Infrared	
Volatile Terpene	Sampling(2hr × 100ml/min) TD(Thermal desorption) Column(60m × 0.32mm × 3μm) 50°C(5min)→5°C/min→260°C(10min)	MTS-32/Markes, MP-Σ30/Sibata Ultra TD, Markes Agilent 6890N-GC/MS

주요항목이다. 본 연구에서 사용된 측정 장비와 분석 조건은 Table 1과 같으며, 분석된 테르펜 종류는  $\alpha$ -pinene, camphene, myrcene, sabinene,  $\beta$ -pinene, cymene, phellandrene,  $\alpha$ -terpinene,  $\delta$ -limonene, eucalyptol, linalool, terpinolen, camphor, borneol, citral 등이다. 테르펜과 기상 및 대기인자와의 상관성 분석은 MS-Excel 2007과 SPSS 18.0을 이용하여 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 종구성과 임황

조사지역의 식생을 조사한 결과, 제1수원지 주변 편백림지역에서의 종구성은 인공조림한 편백(87.2%)과 삼나무(10.3%)가 임목의 대부분을 차지하고, 잣나무, 일본잎갈나무가 개체단위로 재식되어 혼생하며, 자연 발생한 소나무(1.0%)가 수관층에서 산팽나무(0.5%)가 중층에서 각각 생육하고 있었다(Fig. 2).

제 1수원지의 삼나무 숲에서는 삼나무(86.5%)가 주입목(主立木), 편백(13.5%)이 부입목(副立木)으로 각각 조림되어 있으며, 두 숲 모두 주입목과 부입목의 구성비가 비슷한 구조를 이루고 있었다(Fig. 3).

제 1수원지의 임목밀도는 편백숲이 1,692 본/ha, 삼나무숲이 925 본/ha로 편백숲의 밀도가 훨씬 높았으며, 따라서 편백숲은 하층식생이 거의 발달하지 못한 반면 삼나무숲은 상대적으로 하층식생이 풍부하였다. 축적은 편백숲이 720.67 m<sup>3</sup>/ha, 삼나무숲이 561.00 m<sup>3</sup>/ha로 편백숲의 밀도가 높은 만큼 축적 또한 높은 것

으로 나타났다. 그러나 임목의 평균수고는 편백숲이 19 m, 삼나무숲이 24 m였으며, 평균흉고직경 또한 편백숲이 24 cm, 삼나무숲이 27 cm로 삼나무숲의 단순성장량이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 편백과 삼나무의 성장속도가 서로 다른데 원인이 있으며, 두 숲 모두 수고에 비해 임목의 밀도가 과밀한 편이다. 현재 상태로 미루어 보아 두 숲 모두 조림 이후 오늘에 이르기까지 가꾸기 작업이 매우 불충분한 것으로 추측되나 조림목이 생육하기에는 더없이 좋은 지위의 영향으로 생장은 왕성한 편이다.

Table 2. Forest stand condition in two sites

Region	Forest density (unit/ha)	Accumulation (m <sup>3</sup> /ha)	Tree's height (m)	Diameter at breast height (cm)
<i>Chamaecyparis Obtusa</i> (site 1)	1,692	720.67	19 13-24	24 6-42
<i>Cryptomeria japonica</i> (site 2)	925	561.00	24 10-31	27 14-46

주요 수종인 편백과 삼나무의 평균목에서 성장추를 사용하여 코어를 채취하고 연륜폭을 측정하여 성장량을 분석한 결과, 두 수종 모두 생육 초기에 자신을 둘러싸고 있는 주변 개체들과의 경쟁에서 이겨내기 위해 왕성한 성장을 보이다가 대략 20년을 전후하여 경쟁이 극심해지면서 생장이 둔화된 모습을 나타내고 있다. 이후 자연적인 밀도조절의 단계에서 벗어나면

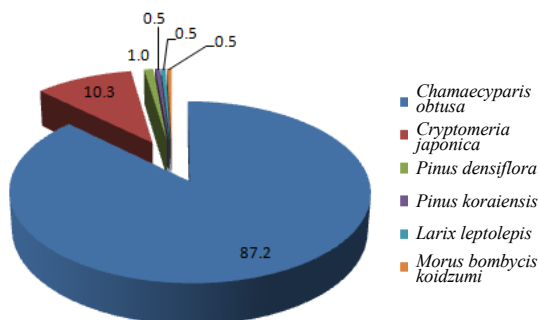


Fig. 2. Species composition in *Chamaecyparis Obtusa* area of the first reservoir.

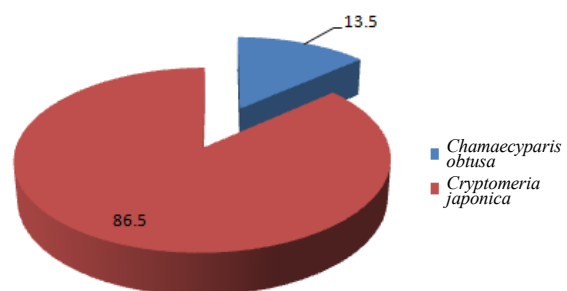


Fig. 3. Species composition in *Cryptomeria japonica* area of the first reservoir.

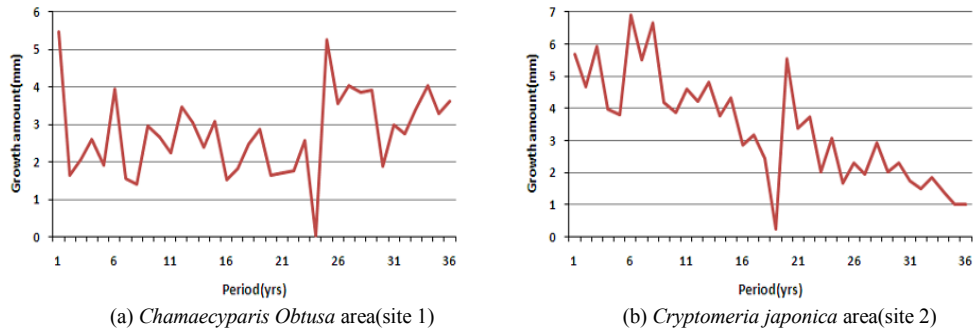


Fig. 4. Annual growth amount of trees in two sites.

서부터 다시 급격하게 성장량이 증가하였다가 현재 편백림은 정체와 성장을 반복하고 있으며, 삼나무림은 임관이 폐쇄되어 생장이 둔화되는 양상을 나타내고 있다. 편백의 연평균성장량은 2.77 mm, 삼나무는 3.36 mm로 삼나무가 편백에 비해 빠른 직경생장을 보이고 있다(Fig. 4).

3.2. 무등산 편백과 삼나무 인공림에서 테르펜류 분석스펙트럼

무등산 인공식생지역인 편백림과 삼나무림 지역에서 채취한 공기 중의 테르펜류 분석을 위해 ATD-

GC/MSD를 사용하였고, 테르펜의 가스크로마토그래피 스펙트럼은 Fig. 4와 같고, α-pinene(C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>), camphene, β-pinene, cymene, δ-limonene과 같은 분자량이 작고 비점이 낮은 순으로 먼저 peak가 나타나고 camphor(C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O), coumarine(C<sub>9</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>), asarone(C<sub>12</sub>H<sub>16</sub>O<sub>3</sub>)과 같은 카르보닐기가 있는 경우는 비점이 높아져서 retention time이 늦어짐을 알 수 있다. 조사 지점에서 주로 나타난 테르펜 성분들의 질량스펙트럼은 Fig. 5와 같다.

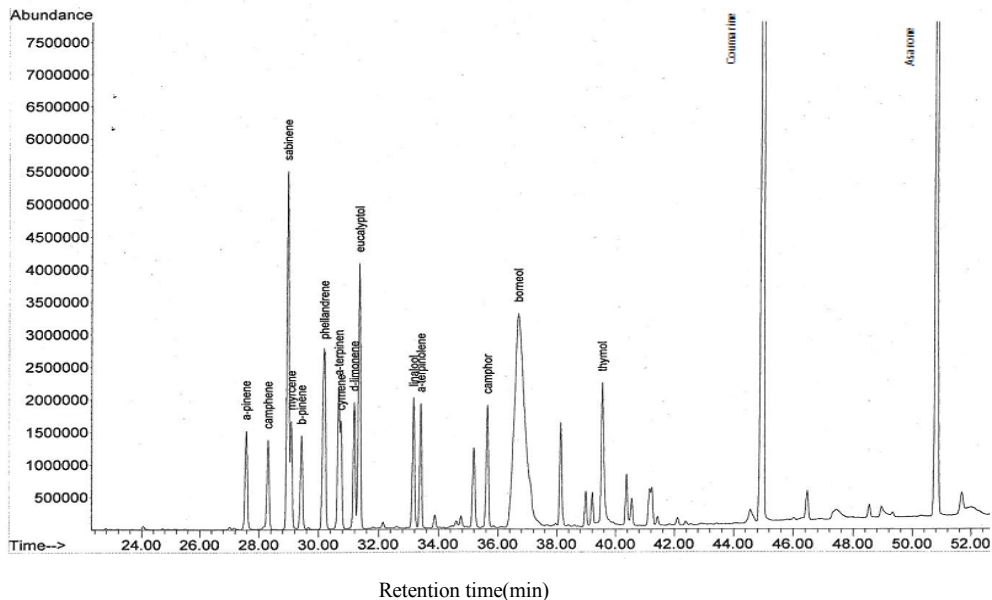
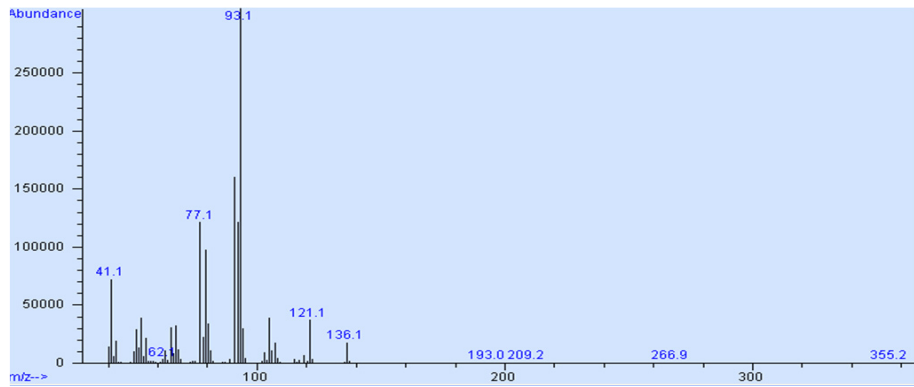
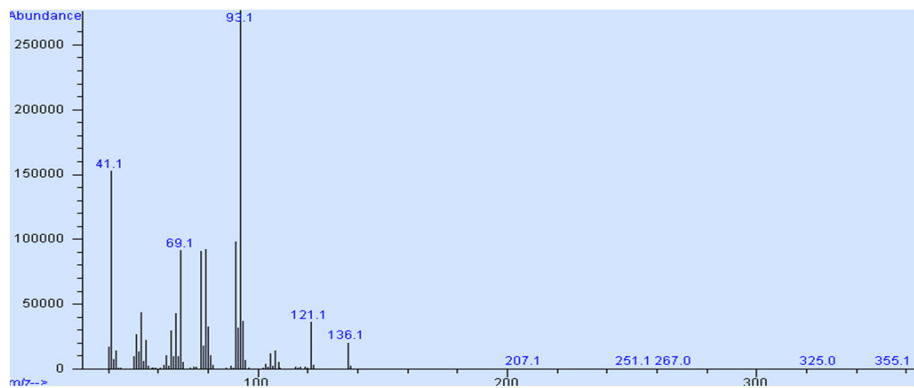
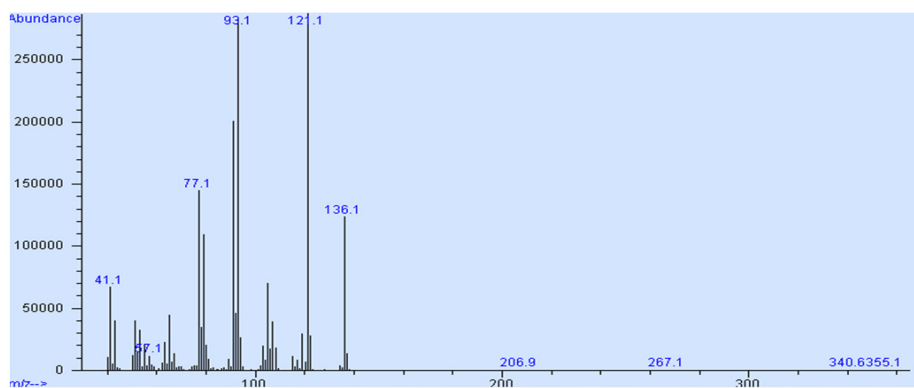
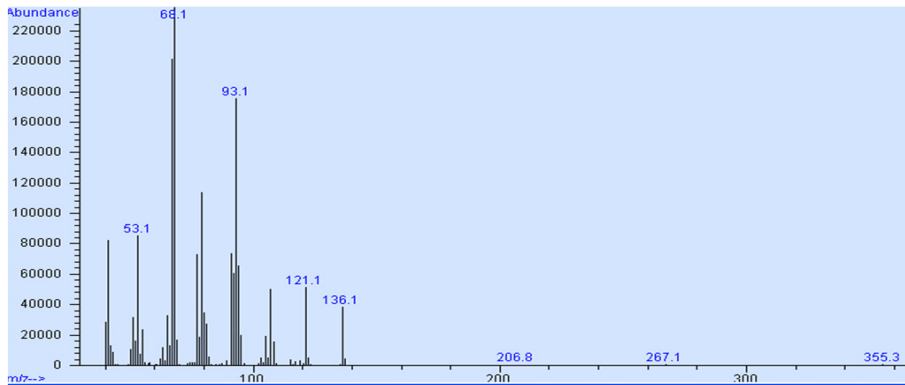


Fig. 5. GC spectrum of terpene materials.

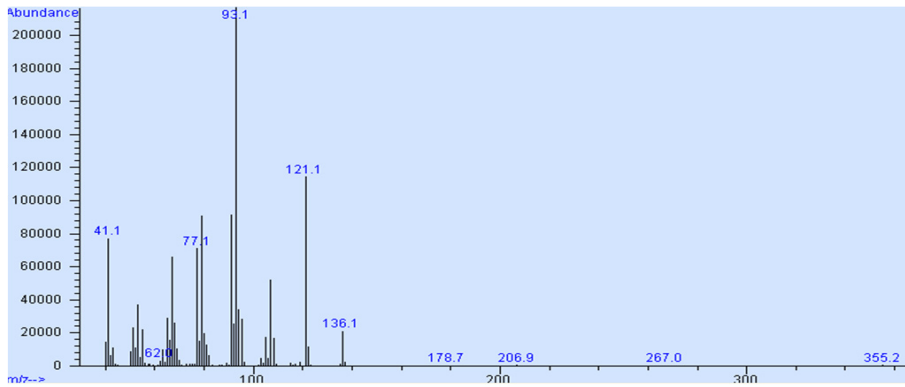
(a)  $\alpha$ -pinene(b)  $\beta$ -pinene

(c) cymene

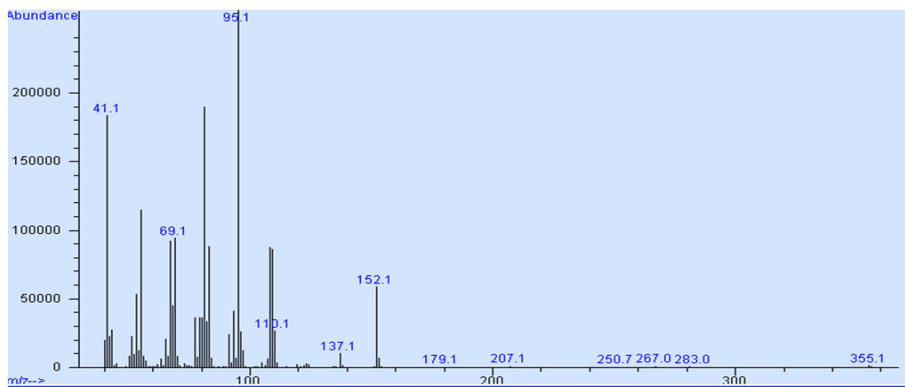
**Fig. 6.** GC-Mass spectrum of terpene materials.



(d)  $\delta$ -limonene



(e) camphene



(f) camphor

Fig. 6. Continue.



3.3. 기상인자와 환경인자의 시간별 분포

제1수원지 편백림 주변에서 기상인자와 대기인자 간의 시간별 농도변화를 조사하였다. 인공조림지역에서 6월 8~9일에 24시간 동안 5분 데이터로 2시간마다 측정된 이산화탄소의 평균농도는 385~410 ppm으로 우리나라 배경농도 지점인 안면도에서 2010년 평균농도 395 ppm과 유사하였으며, 7월 18~19일에 측정된 이산화탄소의 평균농도는 433~467 ppm으로 다소 높아졌다.

대기온도와 일사량은 시간에 따른 변화 경향이 유사하며, 이들과 상대습도와는 반비례하는 경향을 보여주고 있다. 밤과 낮의 온도편차가 대기 중에서는 크지만 지중에서는 작았는데, 대기온도가 가장 높을 때는 오후 2시이고 지중온도가 가장 높을 때는 밤 8시로 지표면의 열기가 땅속 10 cm 지점에 도달하는 시간은 6시간정도 임을 알 수 있었다(Fig. 6). 조사지점이 주간 하루에도 수십~수백 명의 유동 및 체류인구가

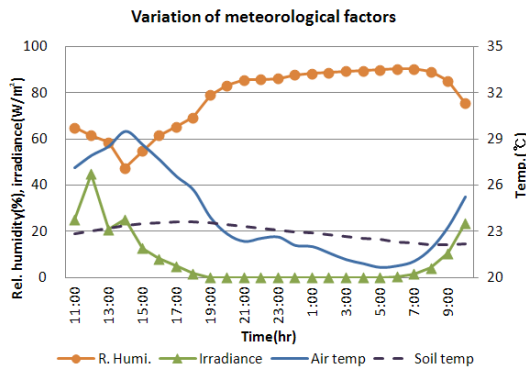


Fig. 7. Comparison of meteorological factors in terms of time.

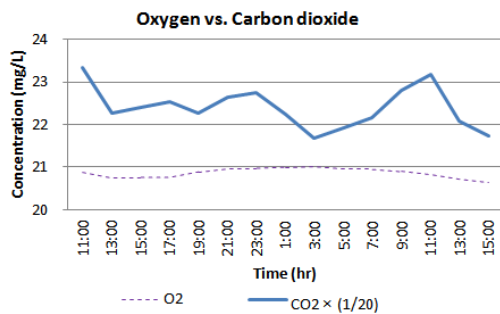


Fig. 8. Comparison of oxygen and carbon dioxide.

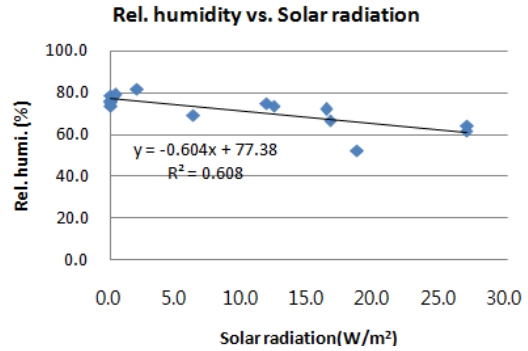


Fig. 9. Comparison of relative humidity and solar radiation.

있어서 이산화탄소 농도가 주간에는 높아졌다가 새벽에 낮아졌고, 산소 농도는 주간에는 낮아졌다가 야간에 높아지는 현상을 보여주었다(Fig. 7). 일사량과 상대습도의 상관성을 비교하면 음의 상관성을 보여주었으며, 결정계수는 0.608이었다(Fig. 9).

3.4. 월별 테르펜 발생특성

무등산 제1수원지 주변 편백림 지역에 대한 테르펜 물질의 월별 검출 농도를 조사기간 중 오전 10시부터 오후 8시까지 2시간 간격으로 측정하였고, 테르펜 물질별로 월별 검출 농도를 비교하였다(Fig. 10).

$\alpha$ -pinene은 7월중에 가장 높은 농도로 검출되었고 6월, 9월, 5월 순으로 높았으며, 10월과 11월은 농도가 매우 낮았다. 테르펜의 발생농도는 기상상태에 따라 영향을 많이 받는데, 특히 간헐적으로 가랑비가 내렸던 8월은 여름철임에도 테르펜 발생량이 매우 낮았고, 10월과 11월은 가을철로 기온이 낮아  $\alpha$ -pinene의 생성량이 적었다.  $\beta$ -pinene의 경우도 7월, 6월, 9월, 5월 순으로  $\alpha$ -pinene과 유사하였고, cymene의 경우는 5월, 6월, 9월, 7월, 10월, 11월 순으로 봄철에 높은 농도로 검출되었다.  $\delta$ -limonene의 경우도 5월, 6월, 7월, 9월, 10월, 11월 순으로 봄철에 농도가 높았고, camphor의 경우는 9월, 6월, 5월, 7월, 10월, 11월 순으로 나타났으며, camphene의 경우는 9월, 5월, 6월, 7월, 10월, 11월 순으로 높았다. 6월과 7월중 오후 2~4시에 편백림에서 테르펜 총 농도는 각각 2,350 pptv와 2,250 pptv, 삼나무림에서는 518 pptv와 1,530 pptv로서 편백림에서 테르펜 발생 농도가 높았다.



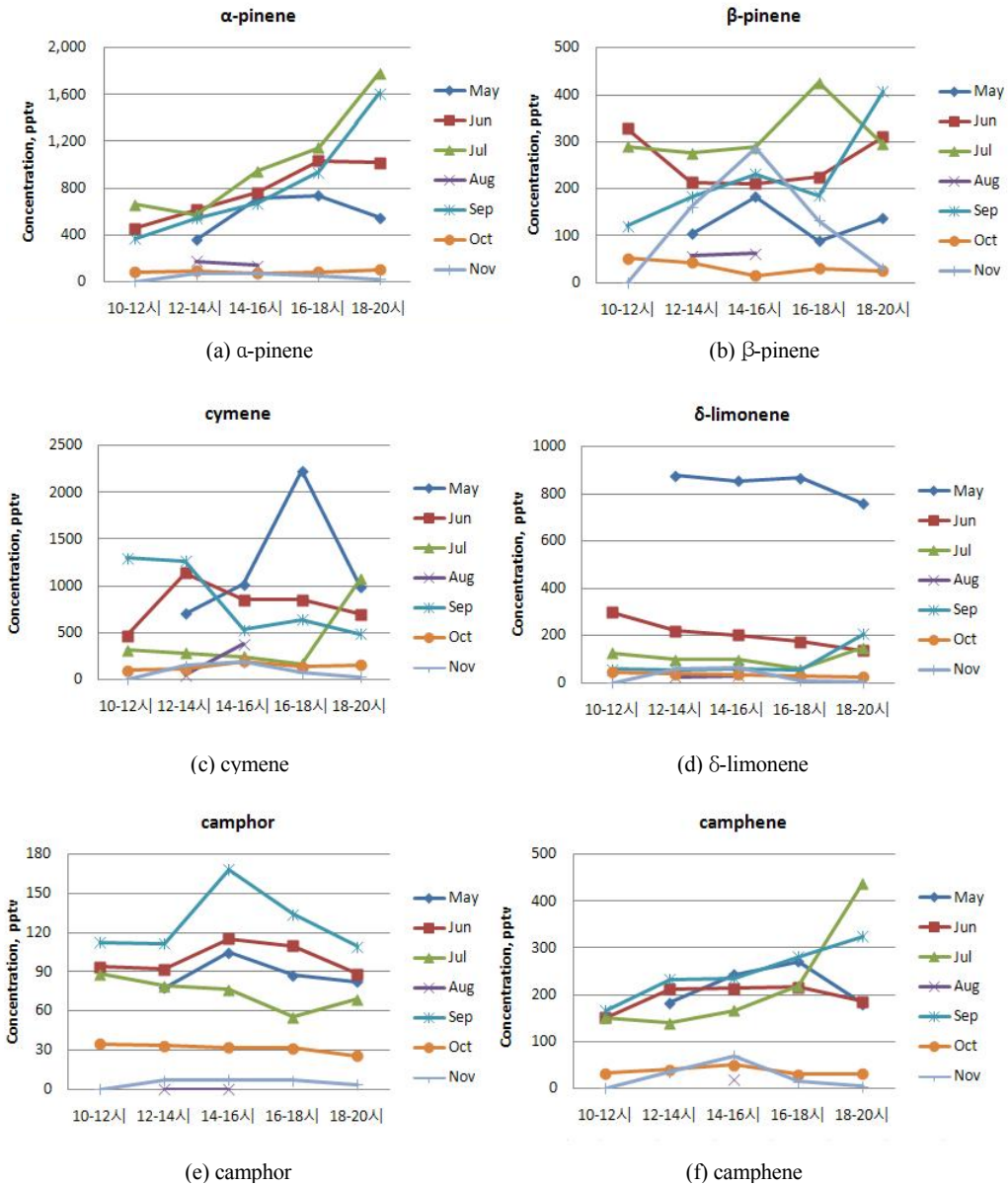


Fig. 10. Monthly variation of terpene at Chamaecyparis Obtusa area of the first reservoir.

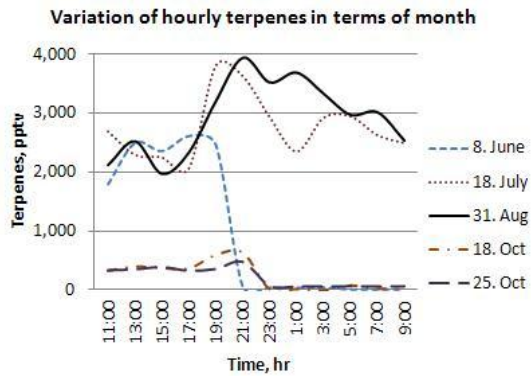
### 3.5. 시간별 테르펜 발생특성

무등산 제1수원지 주변 편백림 지역에 대한 테르펜 물질의 시간별 검출 농도를 6~10월까지 조사하였다. 오전 10시부터 익일 10시까지 2시간 간격으로 12 L씩 포집하여 조사 비교한 결과 오전보다는 오후에 테르

펜의 측정농도가 높았는데, 식물의 대사작용이 활발한 오전에 테르펜 발생량이 많다는 일반적인 현상과 다소 차이가 있다(김 등 2004; 지 등, 2002). 이는 조사 지점의 위치와 주변의 지형 및 기상여건에 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 11, Table 3).

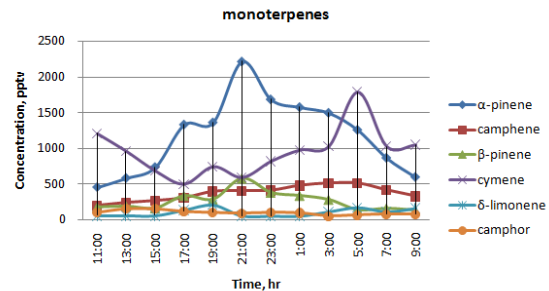
**Table 3.** Monthly variation of total terpenes at *Chamaecyparis Obtusa* area (unit : pptv)

Time	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00	1:00	3:00	5:00	7:00	9:00
8.Jun	1,788	2,488	2,351	2,607	2,461	46	31	31	33	-	-	-
18.Jul	2,696	2,301	2,257	2,070	3,809	3,633	2,939	2,357	2,928	2,952	2,633	2,499
31.Aug	2,124	2,527	1,975	2,338	3,204	3,941	3,524	3,691	3,335	2,974	3,020	2,540
18.Oct	326	394	369	363	585	625	16	21	-	80	27	25
25.Oct	340	356	394	332	363	484	69	59	58	65	57	62

**Fig. 11.** Monthly variation of total terpenes at *Chamaecyparis Obtusa* area.

테르펜 농도가 높은 7월과 8월에는 오후 6시부터 10시까지 증가하였다가 새벽이 되면 점차 감소하였는데, 이는 오전부터 생성된 테르펜 물질이 서풍의 영향으로 계곡 아래쪽에서 위쪽으로 확산됨으로 측정지점 부근에서 높아진 것으로 판단되며, 특히 밤에 기압이 낮아지면서 숲 아래 부분에서 테르펜 농도가 증가하였다가 새벽녘에 풍속이 증가함에 따라 저층부의 테르펜물질이 상층부로 확산되어 측정지점에서 농도가 줄어든 것으로 판단된다. 가을철인 10월에는 여름철보다 테르펜 발생량이 많이 줄어드는데, 오후 7~8시에 최고치를 보이다가 11시 이후부터는 급격히 농도가 낮아졌다. 가을철에는 낮과 밤의 기온차가 크고 전체적인 기온이 낮아 테르펜 생성량이 줄어드는 것으로 판단된다. 이는 조사지점의 높이에서 테르펜 검출량이 주변 지형의 특성과 기상변화에 다양하게 영향을 받아 오전에 많이 발생하는 일반적인 경향과 상이한 것을 알 수 있다(오 등, 2008, 2011; 공 등, 2010; 박 등, 2011).

여름철에 하루 중 시간대별 테르펜 종류에 따라 생성량의 차이가 있는데,  $\alpha$ -pinene과  $\beta$ -pinene, camphene은 오전부터 발생량이 점차 증가하였다가 한 밤중에 최대 농도를 보이다가 새벽녘에 점차 낮아지는 경향을 보였다. 반면에, cymene은 오전에 농도가 증가하다가 오후와 밤이 되면서 농도가 감소하는 경향을 보였다.  $\delta$ -limonene은 오후 7시에 가장 높았다가 한밤중에 낮아진 후 새벽녘에 약간 높아졌다. 이로서 테르펜 종류별로 오전과 오후의 발생량에 차이가 있음을 알 수 있다(Fig. 12).

**Fig. 12.** Variation of terpene amounts in terms of time in summer.

### 3.6. 테르펜과 기상 및 환경인자와의 상관성

측정한 기상 및 환경항목으로는 대기 중의 온·습도, 지중온도, 풍속, 일사량, 상대습도, 산소와 이산화탄소 등이며, 이들 항목과 테르펜량과의 상관성을 조사하였다. 기상 및 환경항목은 5분 데이터를 2시간 동안 평균하였고, 테르펜량은 2시간 동안 흡착관에 포집하여 상관성 분석을 실시하였다.

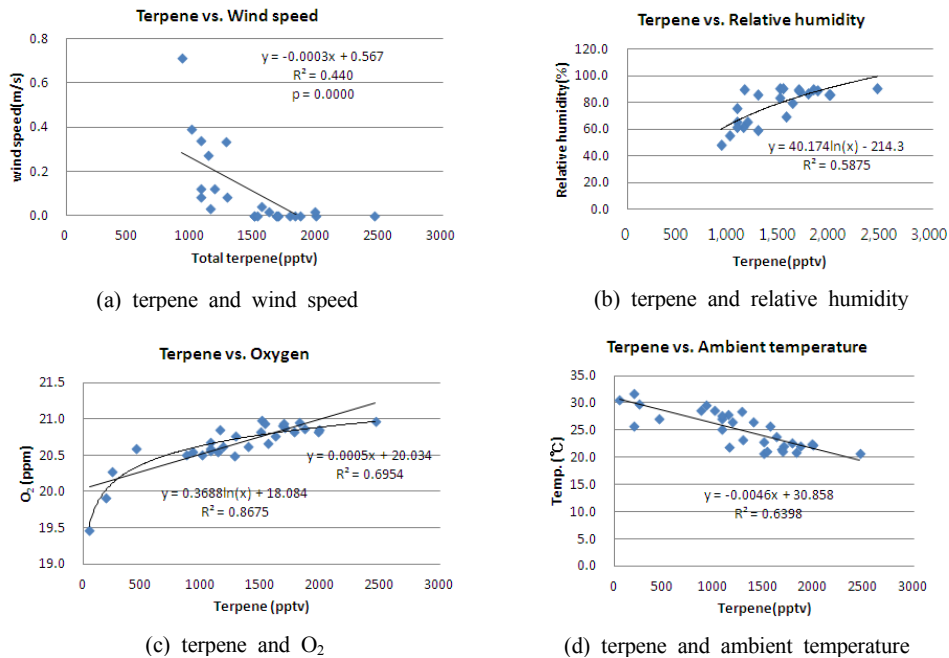
테르펜 물질에 대한 기상인자의 영향을 파악하기 위해 회귀분석 프로그램에 의하여 상관성분석을 실시

**Table 5.** Correlations between terpene and meteorological factors

Item	Total terpene(x)						
	wind speed	rel. humi.	oxygen	soil temp.	carbon dioxide	solar radiation	amb. temp.
Intercept	57	44.17	20.03	27.12	423.1	-7.21	30.86
slope	-0.0003	0.0225	0.0005	-0.0026	0.0123	0.1084	-0.0046
R <sup>2</sup>	0.44	0.66	0.69	0.45	0.28	0.58	0.64
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024	0.0283	0.0000
n	27	30	30	30	30	8	31

하였다. 테르펜 발생량에 양의 상관성이 있는 기상인자로는 상대습도, 산소 등이고, 음의 상관성이 있는 인자로는 풍속과 지중온도인 것으로 조사되었다. 일사량은 양의 상관성을 가지는데 검정통계량 F값에 대한 p값이 유의수준  $\alpha=0.05$  범위에서 유의하였고, 대기온도는 음의 상관성을 보이는데 이는 야간에 기온이 낮아져도 풍속 등의 기상조건 영향으로 테르펜량이 증가하게 나타난 결과로서 일반적인 현상과 반대되는 결과를 보여주었다(박찬우, 2011). 상대습도의 경우는 90% 정도의 범위까지는 테르펜 발생량이 비례적으로 증가하였고, 100%에 근접한 경우는 발생량이 급격히 낮아졌다(박 등, 2011). 이산화탄소는 결정계수

값이 0.28로 종속변수 테르펜량의 변량을 설명하기에는 미흡한 것으로 조사되었다(Table 5, Fig. 13). 따라서 동일한 식생이나 지형 등의 조건에서, 테르펜 물질의 생성과 측정값에 영향을 주는 인자로서 상대습도와 산소 농도가 높으면 테르펜량은 증가하게 되고, 풍속이 낮은 경우 테르펜량이 높아짐을 알 수 있었다. 그러나 강우로 인해 상대습도가 더욱 높아지는 경우는 테르펜의 발생량이 감소하게 되는데, 이는 일사량이나 기온의 감소 등으로 식물의 광합성 작용이 저해되기 때문이다. 8월의 경우 테르펜량이 감소한 것도 간헐적인 강우로 인한 것임을 확인할 수 있었다. 테르펜 물질은 일사량이 많고 기온이 높을 때 나무에서 생성



**Fig. 13.** Correlation between terpene amount and meteorological factors.

되었다가 지형조건이나 기압 및 풍속에 의해 바닥에 내려오기도 하고 대기 중으로 확산되기도 한다. 테르펜의 검출 농도에 가장 크게 영향을 주는 게 풍속인 것으로 보인다. 주간에는 햇볕에 의해 테르펜류의 생성량이 증가하여 농도가 높아지는데, 상층부에 생성된 테르펜류는 오후 시간이 지나고 밤 시간이 되어도 풍속이 낮으면(0.1 m/s) 테르펜류가 저층부로 가라앉게 되어 측정지점에서 농도가 차츰 높아져 20~22시경에 최고치를 나타내는 경우가 발생하게 된다. 그리고 새벽녘부터 풍속이 높아지면서(0.2~0.6 m/s) 저층부의 테르펜류는 상층부로 발산하게 되고 농도가 급격

히 낮아지게 된다.

보편적으로 실험실 챔버 내에서 침엽수로부터 테르펜의 배출특성 연구와는 달리, 현장에서 기상인자나 대기인자와 테르펜 생성량과의 상관분석을 하는 것은 변수가 너무 많고, 인자 상호간의 영향이 매우 커한 가지 항목으로만 해석할 수 없는 것이 일반적이다. 본 연구에서 나온 결과를 통해서도 그러한 사실을 입증할 수가 있을 것 같다(지 등 2002; 임, 2004).

3.7. 테르펜 물질간의 상관성

무등산의 편백림과 삼나무림에서 발생한 테르펜류 각 물질간의 상관성 분석을 실시하였고, 목적변수 y와

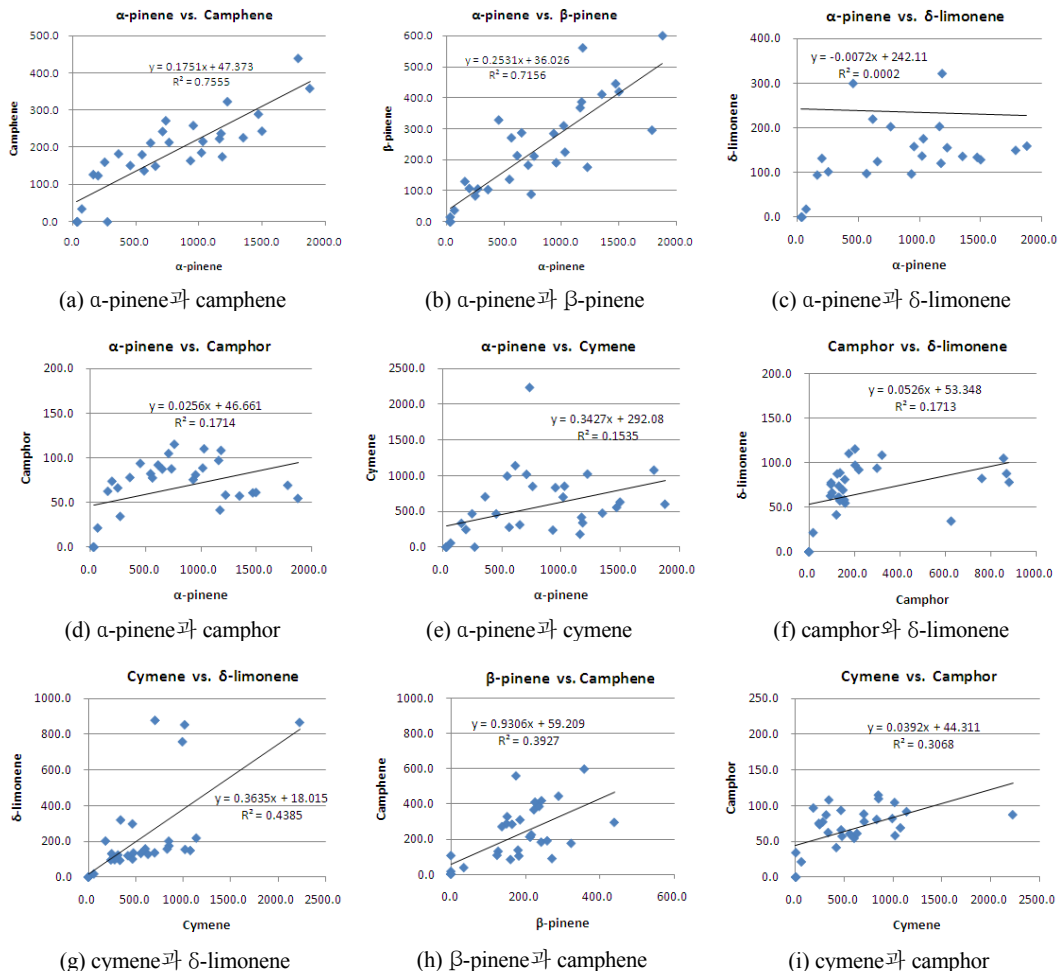


Fig. 14. Correlations between terpene materials (unit : pptv).

Table 6. Correlations between terpene materials

y x	camphene α-pinene	β-pinene α-pinene	δ-limonene α-pinene	camphor α-pinene	cymene α-pinene	δ-limonene camphor	δ-limonene cymene	camphene β-pinene	camphor cymene
Intercept	47.4	36.0	242.1	46.7	292.1	22.4	64.6	59.2	33.1
Slope	0.175	0.245	-0.007	0.026	0.343	3.257	0.314	0.931	7.823
R <sup>2</sup>	0.756	0.716	0.000	0.171	0.154	0.171	0.318	0.393	0.307
P	0.0000	0.0000	0.9369	0.0206	0.0293	0.0206	0.0010	0.0002	0.0012
n	31	31	31	31	31	31	31	31	31

설명변수 x를 각각 정하여 회귀분석을 실시한 결과는 Table 6과 같다.

분산분석표에 의하면 검정통계량 F값에 대한 p값이 유의수준  $\alpha=0.01$ 보다 작은 경우는 camphene과  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene과  $\alpha$ -pinene,  $\delta$ -limonene과 cymene, camphene과  $\beta$ -pinene, camphor와 cymene으로 가정된 직선 모형이 신뢰구간 99%( $\alpha=0.01$ )에 유의하여 y값을 x값으로 설명하는데 모형식이 적합하다고 할 수 있다. 또한  $\alpha$ -pinene은  $\delta$ -limonene만 제외하고  $\alpha=0.05$  범위 내에서 검출된 다른 테르펜 물질과 유의하여  $\alpha$ -pinene이 다른 종류의 테르펜 발생량을 설명하는데 기준물질로 제시할 수 있을 것으로 판단된다. camphene과  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene과  $\alpha$ -pinene의 경우 결정계수 R<sup>2</sup>의 값이 각각 0.756, 0.716으로서 총변동량 중에서 추정된 회귀직선에 의하여 설명되는 변동량은 각각 75.6%와 71.6%이었다(Fig. 14).

#### 4. 결론

무등산 제1수원지 주변 편백림과 삼나무림에 대한 식생조사, 기상인자와 대기인자와 테르펜 물질간의 상관성분석을 4~11월까지 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

무등산 제1수원지 주변 편백림지역의 종구성은 인공조림한 편백(87.2%)과 삼나무(10.3%)가 입목의 대부분을 차지하고, 삼나무지역은 삼나무(86.5%)가 주입목(主立木), 편백(13.5%)이 부입목(副立木)으로 각각 조림되어 있었다. 입목밀도는 편백숲이 1,692 본/ha, 삼나무숲이 925 본/ha로 편백숲의 밀도가 훨씬 높았으며, 축적은 편백숲이 720.67 m<sup>3</sup>/ha, 삼나무숲이 561.00 m<sup>3</sup>/ha로 편백숲의 밀도가 높은 만큼 축적도 높았다.

조사지역의 이산화탄소 농도는 6월에 평균 385~410 ppm으로 우리나라 배경농도 지점인 안면도의 평균농도 395 ppm(2010년)과 유사하였고, 7월에는 433~467 ppm으로 다소 높아졌는데, 유동인구 증가로 인해 이산화탄소가 주간에는 높아졌다가 새벽에 낮아졌고 산소는 주간에는 낮아졌다가 야간에 높아졌다. 밤과 낮의 온도편차는 대기온도가 지중온도보다 컸고, 대기온도는 오후 2시 가장 높았으며 지중온도는 밤 8시에 가장 높아 지점간 온도편차는 6시간 정도이었다. 대기온도와 일사량은 시간에 따른 변화 경향이 유사하였으며, 일사량과 상대습도는 음의 상관성을 보여주었는데 결정계수는 0.608이었다.

조사지역에서 방출된 주요 테르펜 물질은  $\alpha$ -pinene, camphene,  $\beta$ -pinene, cymene,  $\delta$ -limonene, camphor 등이었고 소나무나 잣나무 등에서 방출되는 테르펜 물질과 유사하였으며, 삼나무림보다 편백림에서 많은 양의 테르펜이 검출되었다.  $\alpha$ -pinene과  $\beta$ -pinene은 7월에 가장 높았고, 6월> 9월> 5월> 10월> 11월 순으로 검출되었다. cymene은 5월> 6월> 9월> 7월> 10월> 11월 순으로,  $\delta$ -limonene은 5월> 6월> 7월> 9월> 10월> 11월 순으로 봄철에 많았다. camphor는 9월> 6월> 5월> 7월> 10월> 11월 순으로, camphene은 9월> 5월> 6월> 7월> 10월> 11월 순으로 검출되었다. 편백림 지역에서 테르펜 농도는 오전보다 오후에 높았는데, 이는 오전에 아래쪽에서 생성된 테르펜이 대기압이 낮아지는 저녁에 위쪽으로 이동하여 테르펜 농도 증가에 영향을 주었고, 새벽에 풍속이 높아지면서 확산되어 줄어드는 것으로 나타났다. 여름철에  $\alpha$ -pinene과  $\beta$ -pinene, camphene은 오전보다 오후와 한 밤중에 농도가 높아진 반면, cymene은 오후와 밤보다는 오전에 높아져 테르펜 종류별로 오전과 오후의 발생량에

차이가 있었다.

테르펜 발생량에 상대습도와 산소는 양의 상관성을, 풍속과 지중온도는 음의 상관성을 보여주었고, 일사량은 양의 상관성을 가지나  $p=0.05$  범위에서 유의하였다. 대기온도는 테르펜 발생량에 음의 상관성을 보였는데 이는 야간에 기온이 낮아져도 풍속과 지형의 영향으로 테르펜량이 증가함으로써 지속적인 연구가 필요하다고 본다. 테르펜류 각 물질간의 상관성 분석결과, camphene과  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene과  $\alpha$ -pinene,  $\delta$ -limonene과 cymene, camphene과  $\beta$ -pinene, camphor와 cymene은  $p=0.01$  범위에서 유의하였다. 따라서  $\alpha$ -pinene 물질을 다른 종류의 테르펜물질 발생을 설명하는데 기준물질로 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2011년도 광주녹색환경지원센터의 환경기술연구개발사업비 지원을 받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.(11-1-70-76)

### 참고 문헌

공남식, 최형섭, 변종환, 박점상 이호열, 경남연구원보, 2010, 자연휴양림 피톤치드 발생특성 연구, 153-169.  
 김기원, 2006, 치유요소의 특성과 산림치유에의 활용에 관한 이론적 고찰, 한국식물인간환경학회지, 9(4), 111-123.  
 김명준, 최윤호, 이준우, 박범진, 전용준, 2007, GPS를 이용한 생활권 숲길정보 조사 매뉴얼 개발, 한국환경생태학회 학술대회지, 97-101.  
 김조천, 홍지형, 강창희, 선우영, 김기준, 임준호, 2004, 침엽수로부터 발생하는 방향성 테르펜의 배출속도 비교 연구, 한국대기환경학회지, 20(2), 175-183.  
 박범진, 2006, 내몸이 좋아하는 산림욕, 서울: 넥서스 Books.  
 박찬우, 강하영, 안기완, 유리화, 신원섭, 우종민, 이준우,

김기원, 국립산림과학원, 2011, 숲을 이용한 건강·치유 프로그램 개발, 산림청.  
 박천영, 신인현, 안건상, 이창신, 정연중, 최낙철, 1999, 광주광역시 지하수에 대한 환경오염실태와 지구화학적 특성 연구, 한국지구과학회지, 20(3), 266-276.  
 송정희, 2008, 산림치유 프로그램이 미혼모의 우울감, 불안감, 그리고 자존감에 미치는 영향, 석사학위논문, 충북대학교.  
 신원섭, 김시경, 2007, 산림 경험이 알코올 의존자의 우울감 향상에 미치는 영향, 한국임학회지, 96(2), 203-207.  
 오길영, 전남보건환경연구원, 2008, 2008 보건·환경분야 연구실적 발표 세미나, 65-81.  
 우에하라이와오, 2007, 내 몸을 치유하는 숲, 넥서스 Books, 22-26.  
 유리화, 2009, 산림의 인간건강 증진 및 질병치유효과, 산림치유, 월간 산림과학정보, 217(5), 2-4.  
 임준호, 2004, 국내 주요 침엽수의 자연 VOC 배출속도 비교에 관한 연구, 석사학위논문, 건국대학교.  
 지동영, 김소영, 한진석, 2002, 소나무와 잣나무에서 배출되는 주요 테르펜의 배출특성에 관한 비교연구, 한국대기환경학회지, 18(6), 515-525.  
 Harrison, D., Hunter, M. C., Lewis, A. C., Seakins, P. W., Nunes, T. W., Pio, C. A., 2001, Isoprene and monoterpene emission from the coniferous species *Abies Borisii* -regis-implications for regional air chemistry in Greece, Atmospheric Environment, 35, 4687-4698.  
 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.  
 Staudt, M., Bertin, N., Hansen, U., Seufert, G., Ciccioli, P., Foster, P., Frenzel, B., Fugit, J. -L., Torres, L., 1997, The BEMA-project: seasonal and diurnal patterns of monoterpene emissions from *Pinus pinea* (L.), Atmospheric Environment, 31, 145-156.