

연구논문

충북지역 자연휴양림의 피톤치드 발생 특성

이상우* · 박덕규** · 김광렬*

충북대학교 환경공학과*, 충청북도 보건환경연구원**
(2012년 2월 8일 접수, 2012년 3월 14일 승인)

Characteristics of phytoncide production at the recreation forest in the Chungbuk area

Lee, Sang-Woo* · Deog Gyoo Park** · Kwang-Yul Kim*

Department of Environmental Engineering, Chungbuk national University*
Air Quality Preservation Section, Chungbuk Institute of Health Environment**
(Manuscript received 8 February 2012; accepted 14 March 2012)

Abstract

Phytoncide, which is emitted from plant against the insect species and bacterium, has been known as a health builder for human. Monoterpenes are major components of phytoncide. This study was conducted to investigate the distribution characteristics of phytoncide(monoterpene) depending on main species of tree, season, and meteorological factors in the 5 recreation forests, Chungbuk area.

From the result of the study, it was shown that the annual concentrations of monoterpene are ranged in 236.0pptv - 698.3pptv depending on main species of tree. The variation of seasonal concentration was summer > spring > fall. The monoterpene concentration of coniferous forest was founded to be higher than broad leaved forest. In general, concentration of major components is α -pinene > β -pinene > camphene > d-limonene. The concentration of terpene was founded to be greatly influenced by the meteorological factors such as insolation and temperature.

Keywords : forest lodge, phytoncide, monoterpenes, coniferous forest, broad leaved forest

1. 서론

과학과 경제발전에 따른 산업화 및 도시화의 가속화는 현대인의 스트레스에 의한 정신적, 육체적 문제를 유발하는 것으로 알려져 왔다. 이를 해결하기 위해 다양한 연구가 진행돼 왔으며, 이 중 나무에서 방출되는 피톤치드라는 물질은 몸과 마음이 편안해지고 상쾌해지는 그 효과가 있음이 알려지면서 점차적으로 이에 대한 관심이 커져 주말이면 스트레스 해소, 건강증진 등 여가와 휴양을 위해 숲을 찾는 사람들이 눈에 띄게 증가되고 있다.

피톤치드(phytoncide)란 식물이 만들어 내는 성분으로 1930년대 러시아의 V. P. Tokin 박사가 식물을 의미하는 그리스어 phyton과 죽이는 의미의 라틴어 cide를 합성한 조어에서 유래되었으며, 본래 나무가 곤충이나 미생물 등 외부로부터 자기방어, 생존의 수단으로 방출하여 섭식저해작용, 살충작용, 살균작용 등의 역할을 하는 물질이다(차운정, 1995). 피톤치드의 성분은 주로 terpene으로 그 작용기에 따라 alcohol, aldehyde, ketone, ether, ester, acid, oxide 등으로 나눌 수 있으며, isoprene의 단위구조($(C_5H_8)_n$)에 따라 hemiterpene(C_5H_8), monoterpenes($C_{10}H_{16}$), sesquiterpenes($C_{15}H_{24}$), diterpenes($C_{20}H_{32}$), polyterpenes ($>10(C_5H_8)_n$) 등으로 구분할 수 있다(양재경 등 2002). 이 중 대표적인 물질은 monoterpene으로 α -pinene, camphene, sabinene, β -pinene, myrcene, α -phellandrene, δ^3 -carene, α -terpinene, d-limonene, γ -terpinene 등으로 구성되어 있다.

Terpene은 환경적 측면에서 보면 isoprene과 같이 O_3 , OH radical, nitrate radical과의 반응성이 매우 높고 lifetime이 짧아 대기 중에서 빠르게 광화학 반응이 이루어지고 비도시 지역의 산성침적에 기여하는 유기산의 생성에 기여할 뿐 아니라 오존의 농도를 높일 수 있는 것으로 알려져 왔다(김대준, 2003). 그러나 최근 들어 피톤치드는 다양한 생리활성을 가지고 있어 혈중 콜레스테롤 농도를 저하와 진정효과가 있으며, 또한 우리 몸의 면역력 증진과 마음을 안정시켜 스트레스를 낮춰 주는 역할

을 하는 것으로 알려짐에 따라 현대인들은 피톤치드에 의한 치유효과를 높게 평가하게 되었으며, 이를 위해 나무, 초원 식물 등의 식생에서 자연적으로 배출되는 피톤치드의 효능을 느끼기 위해 시간과 경비를 마다 않고 도시와 멀리 떨어진 숲과 자연휴양림을 찾아 삼림욕을 즐기려 하고 있다(Dimitriadis, 1981). 이미 선진국에서는 숲을 이용한 의료와 복지의 적용이 이루어지고 산림요법, 산림의학에 관한 연구도 진행되어 왔으며, 특히, 일본에서는 산림활동이 단순한 휴양활동의 수준을 벗어나서 심신의 건강을 증진하고 질환을 치유하는 산림요법과 산림의학 등으로 발전하고 새로운 산림휴양의 개념으로 산림 테라피라는 용어를 사용하기 시작했다(모리모토 가네히사, 2009). 우리나라 또한 산림 테라피에 대한 관심 증가에 따라 전국에 115개의 자연휴양림이 국가, 자치단체 및 개인에 의해 운영되고 있으며, 이들 자연휴양림의 조성고 이용객 수는 점차 늘어나는 추세에 있다(삼림청, 2009).

과거 피톤치드에 관한 연구는 주로 수종과 이에 영향을 주는 인자들에 따른 발생특성 연구가 이루어져 왔다. Yatagai(1995)은 다양한 수종에 대하여 연간 나뭇잎 중의 정유량과 tricyclene, α -pinene, camphene, sabinene, β -pinene, limonene, δ^3 -carene, β -phellandrene, γ -terpinene, p-cymene, terpinolene, cis-3-Hexenal 등 12종의 terpene 농도 측정을 하였으며, 또한 온도와 빛에 의한 수종에 따른 terpene 배출특성 연구를 통해 피톤치드의 발생이 빛과 온도가 가장 영향력이 크고 중요함을 밝혀냈다. 이와 유사한 연구로 우리나라에서는 김조천 등(2003)과 김기준 등(2004)에 의해 침엽수에서 배출되는 monoterpene 구성 및 배출속도 등이 진행된 바 있다. Terpene의 발생 및 분포 특성에 관한 연구로 이혜영(2007)은 제주지역의 산림, 초지, 전원지역, 도심지를 대상으로 isoprene에 대한 농도 분포가 조사된 바가 있으나, 이는 terpene의 구성성분 중 중 α -pinene, β -pinene, d-limonene, p-cymene 등 4종만을 대상으로 하여 제주지역의 높은 O_3 농도와 isoprene의

상관성을 조사하였다. 이러한 연구들은 최근 건강 증진을 위한 휴양림의 이용이 증가되는 상황에서 휴양림 내에서 피톤치드의 효과 증대를 위한 정보를 제공하기에는 부족함이 있다.

따라서 본 연구에서는 충청북도에 위치한 자연휴양림 중 북부권의 단양 소선암과 충주 봉황, 중부권의 괴산 조령산, 남부권의 옥천 장령산과 영동 민주지산 자연 휴양림 등 5개소를 대상으로 휴양림의 조성 수종, 1일 시간별 또는 계절별 농도 변화, 기상인자 등에 대한 피톤치드(α -pinene, camphene, sabinene, β -pinene, myrcene, α -phellandrene, δ^3 -carene, α -terpinene, d-limonene, γ -terpinene)의 조사를 통해 휴양림 내에서의 피톤치드의 발생 특성을 조사하고, 이를 통하여 건강증진을 위한 피톤치드의 효과적인 활용방안을 연구하고자 하였다.

II. 시험재료 및 방법

1. 조사대상 및 기간

조사대상으로 도내 자연휴양림 중 북부권의 단양 소선암과 충주 봉황, 중부권의 괴산 조령산, 남부권의 옥천 장령산과 영동 민주지산 자연 휴양림 등 5개소를 대상으로 하였으며, 조사기간은 2010년 3월부터 12월까지 봄, 여름, 가을 3회에 걸쳐 이루어졌다. 각 자연휴양림의 대표 수종은 침엽수와 활엽수 모두 혼재한 상태로 명확한 구분은 어려우나 조사 지점(시료채취지점)에서 우점하는 수종을 이번 조사

에서 대표 수종으로 적용하였으며, Table 1과 같다.

2. 시료채취 방법

피톤치드 시료는 자동흡착장치(ATS-2400 Automatic TUBE/DNPH-Catridge Sampler, ACEN)를 사용하여 약 100mL/min의 유량으로 2hr 동안 총 12L를 Tenax Tube에 흡인하여 채취하였으며, 이와 같은 방법으로 24hr 동안 연속적으로 채취함으로써 1일 2hr 간격의 12개 시료를 채취하였다. 시료 채취 시 사람의 키 높이를 고려하여 지상 1.5m에 샘플러를 설치하였고, 동시에 Weather Link for Vantage Pro(DAVIS)로 국지기상을 측정하였다. 채취한 시료는 피톤치드의 주성분인 monoterpene 중 10종(α -pinene, camphene, sabinene, β -pinene, myrcene, α -phellandrene, δ^3 -carene, α -terpinene, d-limonene, γ -terpinene)을 분석하였다.

III. 결과 및 토의

1. 휴양림 위치 및 특성에 따른 monoterpene 농도 변화

조사대상 휴양림별 monoterpene의 3계절평균 농도는 조사대상인 5개의 휴양림 중 장령산이 698.3pptv로 가장 높게 나타났으며, 소선암 548.6pptv, 민주지산 532.1pptv, 조령산 480.9pptv, 봉황 236.0pptv 순으로 나타났다(Table. 2). 제일 높은 옥

Table 1. Main trees at each sampling site

Recreation forests	Main tree	Classification
Joryung Mt.	Pine tree	Needleleaf tree (Always green leaves)
Bonghwang	Oak tree	Broadleaf tree (leaves fallen)
Minjuji Mt.	Larch tree	Needleleaf tree (leaves fallen)
Jangryung Mt.	Pine tree	Needleleaf tree (Always green leaves)
Soseonam	Pine tree	Needleleaf tree (Always green leaves)

Table 2. Annual average concentration of monoterpenes in each sampling site (Unit: pptv)

Sampling site	Joryung	Bonghwang	Minjuji	Jangryung	Soseonam
Concentration	480.9	236.0	532.1	698.3	548.6

천 장령산은 소나무와 전나무 등 상록침엽수가 우점하고 가장 낮은 층주 봉황은 낙엽활엽수인 참나무가 우점한 곳으로, 따라서 침엽수에서 monoterpene이 많이 배출되고 활엽수에서는 주로 isoprene이 배출됨을 확인할 수 있었다.

지점별 발생terpene류에 대한 10개 성분의 분석 결과 terpene류 중소나무가 주 수종인 조령, 장령산, 소선암과 참나무가 주 수종인 봉황산의 경우 근육통과 감기, 관절염, 정신피로, 혈액순환 등에 효능이 있는 것으로 알려져 있는(강하영, 2003) α -pinene과 β -pinene이 각각 약 45~50%와 20~26%정도를 차지하는 것으로 나타났으며, 낙엽송이 주 수종인

민주지산의 경우에는 조령산에서만 일부 검출된 sabinene이 37%로 가장 높았고 다음으로 α -pinene(22.0%)과 갯넝년기장해, 모유부족, 피부염 증, 강장, 거담, 진위, 해독작용에 효능이 있다고 알려져 있는 camphene(20.0%) 그리고 β -pinene (18.6%) 순으로 나타났다.

또한 α -phellandrene과 α -terpinene은 검출되지 않았으며, δ 3-carene은 민주지산에서만 유일하게 검출되었고,

신경긴장과 각종 스트레스 해소효과 큰 것으로 알려진 myrcene은 조령산과 민주지산을 제외한 나머지 3곳에서 모두 검출되었다. 기타 감기, 혈액순

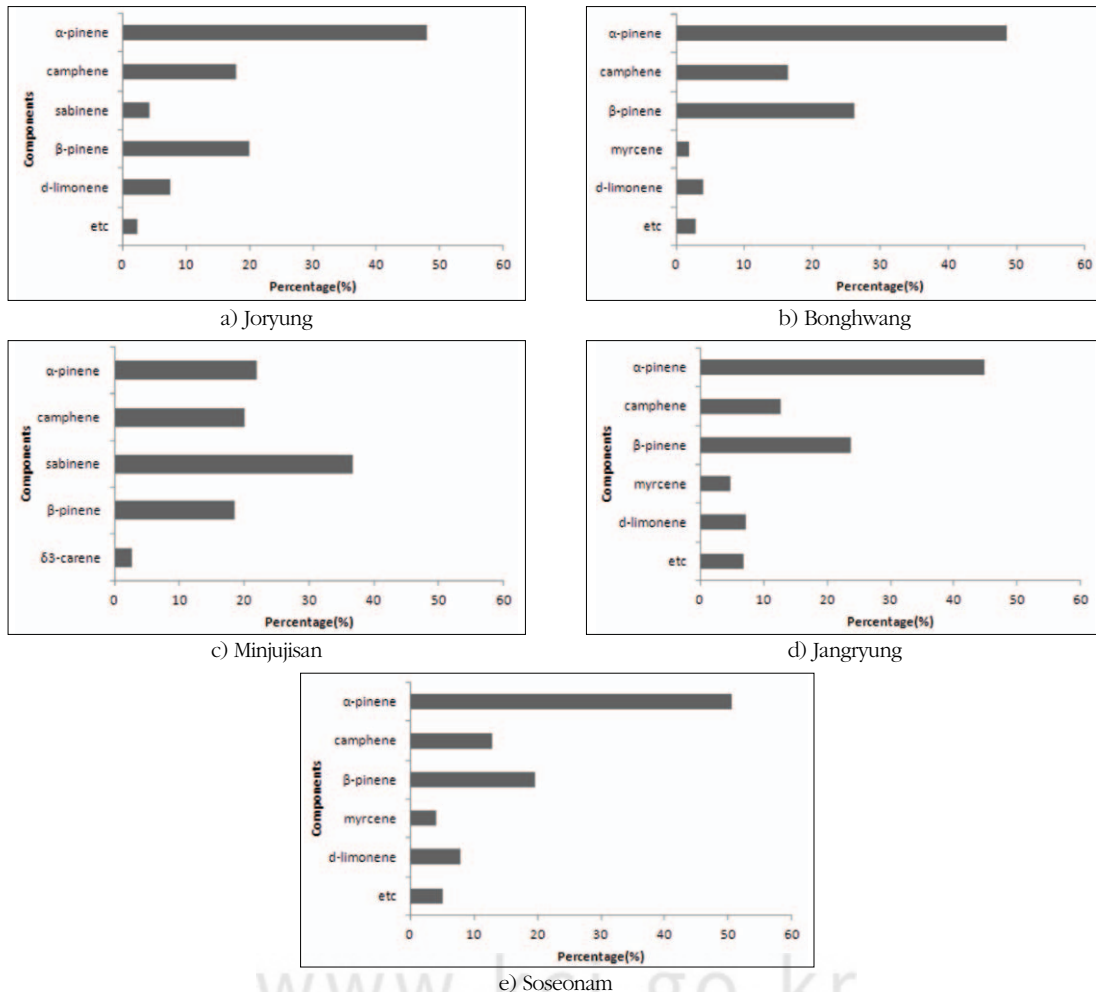


Fig 1. Compositions of monoterpene

환, 고혈압, 우울증 등에 효능이 있는 d-limonene 과 γ -terpinene 등도 검출되었으나 낮은 조성을 보였다. 따라서 참나무는 활엽수로 침엽수인 소나무와 수종이 다름에도 생성되는 monoterpene의 조성이 유사한 반면 같은 침엽수인 낙엽송은 매우 다른 조성의 monoterpene을 생성함을 확인할 수 있었다. 각 자연휴양림별 monoterpene 성분의 구성 성분에 대한 분석 결과는 Fig 1와 같다.

2. 계절별 monoterpene 농도 변화

계절별 monoterpene의 방출량은 가을이 높다는 연구와 식물 눈의 발아와 발육 등으로 봄철이 가장 높다는 등 다양하게 보고되고 있으나 (강하영 등, 2002; Halkola et al., 2003; Kim, 2001) monoterpene에 대한 계절별 농도 조사 결과 전 지점에서 여름 > 봄 > 가을의 순으로 나타남으로서 monoterpene의 생성에 따른 농도는 기온이나 일조시간과 관계가 있는 것으로 추정되며 계절별 측정 결과는 Table 3과 같다. monoterpene의 최대농도는 여름철 장령산

에서 887.4 pptv로 나타났으며 이때 α -pinene (389.9 pptv)과 β -pinene(208.7 pptv)의 농도가 높았고 민주지산의 경우는 역시 sabinene(205.2 pptv)과 camphene(101.6 pptv), δ^3 -carene(18.0 pptv)이 다른 지점에 비해 높게 나타났다. 계절별 변화에서 소나무가 주 수종인 조령, 장령산, 소선암 등의 경우 여름철에 비해 가을철 monoterpene농도가 각각 31, 45, 33% 정도씩 감소한 반면, 참나무와 낙엽송이 주 수종인 봉황과 민주지산의 경우 monoterpene농도감소는 56과 65%로 급격히 감소한 것을 볼수 있다. 이는 가을이 되면서 낙엽이 지기 때문인 것으로 판단된다.

3. 시간별 monoterpene 농도 변화

하루 중 시간대별 monoterpene의 농도 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 봄과 여름의 경우 봉황을 제외하고 모두 오전 6시경부터 증가하기 시작하여 8시에서 10시 경 최고농도를 보인 후 감소하는 경향을 보였으며 봉황의 경우 10시에서 12시 사이

Table 3. Seasonal concentrations and compositions of monoterpene (unit : pptv)

Site	Season	α -pin	cam	sab	β -pin	myr	d-lim	Etc	Sum
Joryung	Spr.	207.1	79.5	25.4	91.4	10.8	41.4	n.d	455.6
	Sum.	282.2	99.3	26.8	118.1	12.2	43.1	n.d	581.6
	Fall	201.7	77.2	11.0	78.7	11.1	25.8	n.d	405.4
	Mean	230.3	85.3	21.1	96.1	11.4	36.8	n.d	480.9
Bonghwang	Spr.	114.5	29.3	6.8	67.4	7.7	12.4	4.3	242.4
	Sum.	142.4	61.6	6.3	85.5	8.0	13.5	5.5	322.8
	Fall	77.9	26.1	-	34.8	n.d	4.0	n.d	142.8
	Mean	111.6	39.0	4.4	62.6	5.2	9.9	3.3	236.0
Minjuji	Spr.	128.7	104.4	250.4	108.3	n.d	n.d	27.3	619.0
	Sum.	149.5	140.0	290.2	117.6	n.d	n.d	26.8	724.1
	Fall	62.2	60.4	75.1	55.6	n.d	n.d	n.d	253.2
	Mean	113.5	101.6	205.2	93.8	n.d	n.d	18.0	532.1
Jangryung	Spr.	302.1	97.1	25.2	157.4	44.3	66.0	27.6	719.6
	Sum.	389.9	109.7	28.2	208.7	44.6	72.6	33.8	887.4
	Fall	236.7	59.5	16.9	127.4	16.3	19.6	11.5	487.9
	Mean	309.6	88.8	23.5	164.5	35.0	52.7	24.3	698.3
Soseonam	Spr.	270.1	66.7	13.2	102.1	27.9	60.6	21.9	562.4
	Sum.	312.7	81.4	14.0	118.5	30.0	61.8	27.5	645.8
	Fall	240.8	61.0	6.8	97.9	11.3	15.0	4.8	437.5
	Mean	274.5	69.7	11.3	106.2	23.1	45.8	18.1	548.6

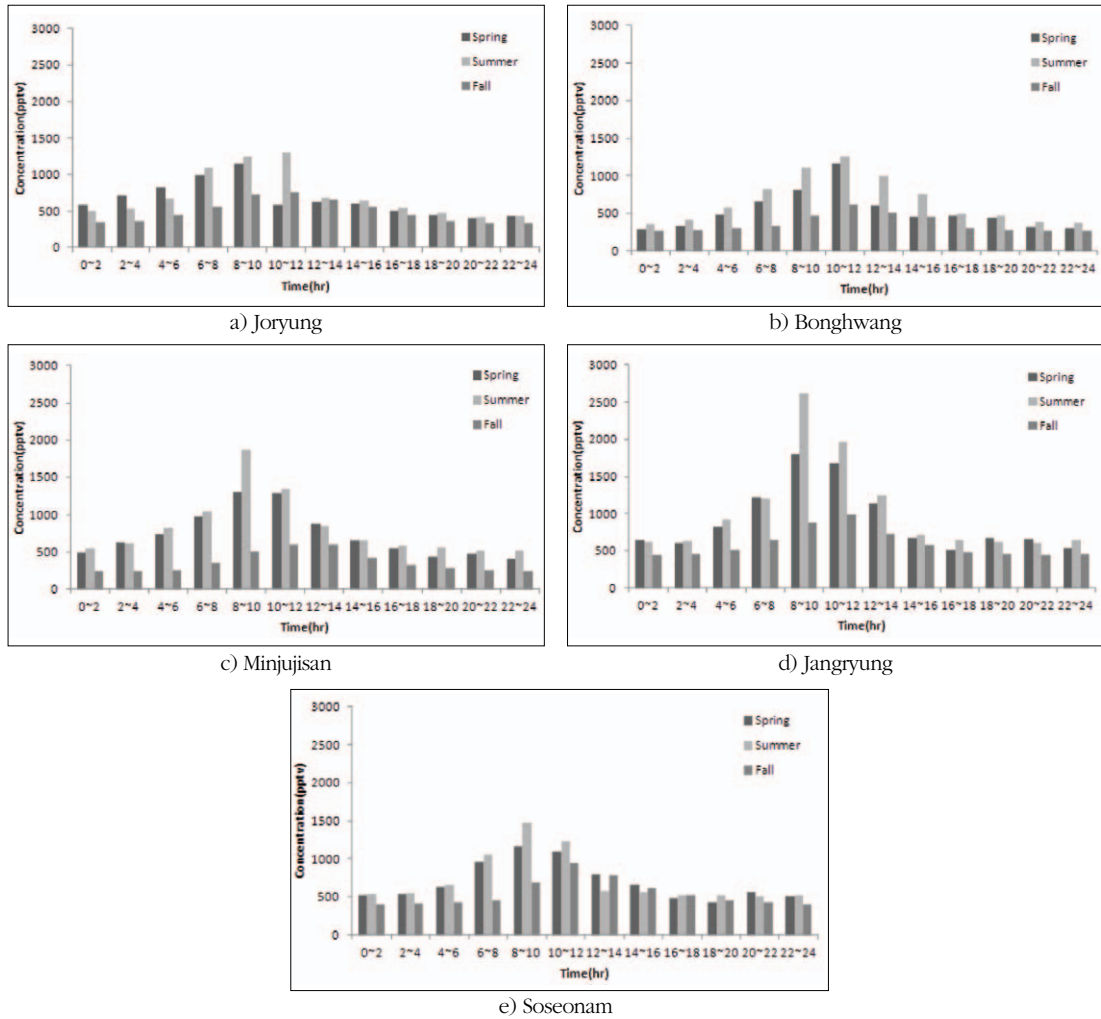


Fig 2. Variation of monoterpene concentration according to time

에 최고 농도를 보였다. 이러한 시차는 봉황휴양림이 북향으로 다른 휴양림 보다 일조시간이 늦기 때문인 것으로 사료되며 가을의 경우 일출시간이 늦어짐에 따라 최고 농도에 도달하는 시간대가 8~10 시에서 모두 10~12시로 나타남도 같은 이유로 설명할 수 있다. 또한 monoterpene의 농도 측정 시 오후 시간대의 낮은 농도는 생성된 monoterpene이 기온이 상승함에 따라 대류 확산됨으로서 농도가 낮아지는 것을 고려할 수 있으나 봄, 가을의 경우 기온이 가장 높을 때가 오후 2시경 이고 여름철은 3~4시인 점을 고려할 때 monoterpene의 농도 감소가 12시 경 이후부터 급격히 감소하는 것으로 보

아 대류 확산에 의한 농도 감소 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 따라서 monoterpene의 농도는 기온이 높은 여름에 피톤치드성분의 발생이 증가한다는 보고(Hakola *et. al.*, 2002; Hsieh *et. al.*, 1999; Yatagai *et. al.*, 1995, Hakola *et. al.*, 2003; Hsieh *et. al.*, 1999; Yatagai *et. al.*, 1995)와 일치하나 기온보다는 일조시간과 관계되는 것으로 사료된다.

이러한 결과는 기존의 연구결과로 발표된 오영길 등(2009)의 전남지역에 대한 조사에서 나타난 오후 2시~4시 보다 일찍 최고 농도에 달하는 결과를 보였으며, 이혜영(2007)에 의해 보고된 제주도 산림을 대상으로 조사한 결과에서 monoterpene이 야간에

더 높게 측정된 결과와는 반대의 양상을 보였다.

4. 기상인자와의 관계

기상인자와 monoterpene의 농도와의 관계를 알아보기 위해 여름철 장령산의 시간대별 monoterpene농도와 일사량, 기온, 상대습도 등 기상인자와의 관계를 조사하였다. Fig. 3a 일사량과 monoterpene농도의 관계를 보면 일사량의 증가에 따라 monoterpene의 농도변화가 나타나기는 하나 일사량이 최고인 시간대와 monoterpene농도가 가장 높은 시간대가 일치하지 않으며, Fig. 3b의 기온과의 관계에 있어서도 최고 기온과 농도 시간대가 일치하지는 않음으로 해 뜰 무렵 일사량의 증가와

기온의 상승으로 수목의 생리활동이 활발해지기 시작함으로서 monoterpene의 생성 배출량이 monoterpene의 분해, 소실되는 양보다 많은 것으로 판단된다. 정오 무렵부터는 일사량이 최고에 달하고 기온의 지속적인 상승으로 monoterpene의 생성 배출량보다 분해속도가 빨라 전체적으로 농도가 감소하며, Fig. 3c와 같이 상대습도와의 관계는 크지 않은 것으로 나타났다.

이상의 연구를 통해 피톤치드를 이용한 건강유지 및 치유를 위한 자연휴양림의 이용 시 보다 나은 치유 효과를 얻기 위한 자연휴양림 운영방안이 모색되어야 할 것으로 보인다. 연구 결과에 나타난 바와 같이 의학적 치료차원에서 산림의 활용방안으로 침엽수종이 주로 분포하는 지역에 보건, 휴양시설 운영이 이루어져야하며, 계절적으로 활발한 식물의 생육활동에 의해 상대적으로 다량의 피톤치드가 발생하는 계절적으로는 여름철, 시간적으로는 오전 10시경에 자연휴양림 이용이 활성화 될 수 있는 프로그램의 실행이 이루어져야 할 것으로 보인다. 최근 국내에서는 치유프로그램을 개발하고 임상실험 등의 기획연구를 추진하기 위해 경기도 양평군에 위치한 산음자연휴양림 구역을 모델 치유의 숲으로 선정하여 2007년부터 건강증진센터 건립, 숲 가꾸기 사업을 추진하고 있으며, 2009년에는 강원 횡성에 숲체원과 전남 장성의 편백숲을 조성하고 있다 (산림청, 2009).

IV. 결론

충북지역의 자연휴양림 수종에 따른 피톤치드 발생 특성을 조사한 결과 결론은 다음과 같다.

1. 충북도 내 5개 휴양림을 대상으로 피톤치드 발생량을 조사하기 위한 monoterpene분석 결과 년 평균 농도는 옥천 장령산 698.3pptv, 단양 소선암 548.6pptv, 영동 민주지산 532.1pptv, 괴산 조령산 480.9pptv, 충주 봉황 236.0pptv 순으로 나타났으며, 이는 수종분포에 따른 차이로 침엽수림 지역이 활엽수림 지역 보다 높게 나타났다.

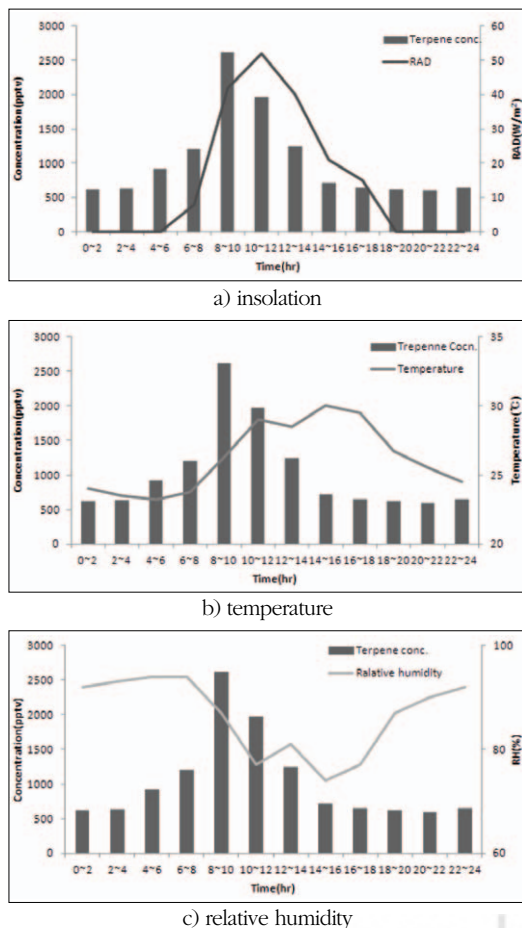


Fig. 3. Relationship between meteorological factors and monoterpene concentration at Jangryung

2. monoterpene에 대한 10가지 성분들에 대한 분석결과 조성은 소나무와 참나무가 주 수종인 경우 α -pinene > β -pinene > camphene > d-limonene 순이었으며, 낙엽송이 주 수종인 지역은 sabinene > α -pinene > camphene > β -pinene 순으로 나타났다. 그 밖에 myrcene, δ^3 -carene, γ -terpinene 등이 검출되었으나 α -phellandrene과 α -terpinene은 검출되지 않았다.

3. monoterpene의 생성 농도는 계절별로 여름 > 봄 > 가을 순으로 높게 나타났고, 시간에 따른 monoterpene의 농도 변화 조사 결과, 일조시간이 길어지는 봄부터 여름 까지는 오전 8~10시 경 가장 높았으며 이후 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 가을의 경우에는 일조시간이 짧아지기 시작함에 따라 오전 10~12시경에 가장 높은 농도를 나타내었다. 따라서 monoterpene의 생성은 일조시간에 영향을 받는 것으로 사료된다.

4. 기상인자와 monoterpene생성농도와의 관계를 알아보기 위해 시간대별 monoterpene 농도와 일사량, 기온, 상대습도 등 기상인자와의 관계를 조사한 결과 일사량과 기온의 변화가 일치하지 않아 역시 일조시간과의 관계가 더 큰 것으로 보이며 습도와는 직접적인 관련이 없는 것으로 나타났다.

사 사

본 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

Reference

강하영, 2003, 피톤치드의 비밀. 역사넷.
 강하영, 최인규, 이성숙, 2002, 수엽 정유함량에 미치는 생물·화학적 자극제 처리효과, 한국식품과학회지, 34(1), 8-12.
 김대준, 2003, 제주지역 대기 중 오존 농도의 시공간적 분포 특성, 제주대학교 석사학위청구논문.

김조천, 홍지형, 강창희, 선우영, 김기준, 임준호, 2003, 침엽수로부터 발생하는 방향성 테르펜의 배출속도 비교, 한국대기환경학회지, 20(2), 93-94.

김기준, 김조천, 선우영, 임용재, 김지용, 홍지형, 2004, 침엽수(잣나무)로부터 배출되는 봄철 자연 VOC(NVOC) 배출속도와 모노테르펜 구성에 관한 연구, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 한국대기환경학회, 266-267.
 모리모토 가네히사, 미야자키 요시후미, 히라노 히데키, 2009, 산림치유, 전나무숲.

산림청, 2009, 임업통계연보.

산림청, 2009, 산림과 임업 동향에 관한 연차보고서 양재경, 강병국, 김태홍, 홍성철, 서원택, 최명석. 2002, 침엽수 잎으로부터 효율적인 정유 추출법 탐색 및 정유성분 분석. 한국생물공학회지, 17(4), 357-364.

이혜영, 2007, 제주도 산림 대기 내 monoterpene의 분포 특성. 제주대학교 석사학위청구논문.

지동영, 김소영, 한진석, 2002, 소나무와 잣나무에서 배출되는 주요 테르펜의 배출특성에 관한 비교 연구, 한국대기환경학회지, 18(6), 515-525

차운정, 1996, 삼림욕, 숲으로의 여행: 자연을 알고 떠나는 삼림욕 건강법, 동학사.

Dimitriades, B., 1981, The role of natural organics in photochemical air pollution, J. Air Pollution and Control Association, 31, 229-235.

Hakola, H., Laurila, T., Rinne, H.J.I. and Puhto, K., 2002, The ambient concentrations of biogenic hydrocarbons at a northern European, boreal site, Atmospheric Environment, 34, 4971-4982.

Hakola, H., Tarvainen, V., Laurila, T., Hiltunen, V., Hellen, H., and Keronene, P., 2003, Seasonal variations of VOC concentration above a boreal coniferous forest, Atmospheric

- Environment, 37(12), 1623-1634.
- Hsieh, C.C., Chang, K.H. and Wang, L.T., 1999, Ambient concentrations of biogenic volatile organic compounds in South Tiwan, Chemosphere, 39(5), 731-744.
- Kesselmeier, J., Kuhn, U., Wolf, A., Andreae, M. O., Ciccioli, P., Brancaleoni, E., Frattoni, M., Guenther, A., Greenberg, J., De Castro Vasconcellos, P., Telles de Oliva, Tavares, T., Artaxo, P., 2000, Atmospheric volatile organic compounds (VOC) at a remote tropical forest site in central Amazonia, Atmospheric Environment, 34, 4063-4072.
- Kim, J, C., 2001, Factors controlling natural VOC emissions in a southeastern US pine forest, Atmospheric Environment, 35, 3279-3292.
- Lerdau. M., Guenther, A. and Monson, R., 1997, Plant production and emission of volatile organic compounds, Bioscience, 47(6), 373-383.
- Riba, M. L., Tathy, J. P., Tsiropoulos, N., Monsarrat, B., Torres, L., 1987, Diurnal variation in the concentration α -pinene, β -pinene in the Landes forest(france), Atmospheric Environment. 21(1), 191-193.
- Rinne, HJ.I., Guenther, A.B., Greenberg, J.P. and Harley, P.C, 2002, Isoprene and monoterpene fluxes measured above amazonian rainforest and their dependence on light and temperature. Atmospheric Environmen, 36, 2421-2426.
- Yatagai, M., Ohira, M., Ohira, T., Nagai, S., 1995, Seasonal variations of terpene emission from tree and influence of temperature, light and contact stimulation on terpene emission, Chemosphere, 30(6), 1137-1149.

최종원고채택 12. 03. 30