

## 소나무, 굴참나무 낙엽의 연소 방출가스 분석 및 건강 위험성 평가 Combustion Emission Gas Analysis and Health Hazard Assessment about *P. densiflora* and *Q. variabilis* Surface Fuel Beds

김동현 · 김응식\*<sup>†</sup> · 이명보

Dong Hyun Kim · Eung Sik Kim\*<sup>†</sup> · Myung Bo Lee

국립산림과학원 산림방재연구과, \*호서대학교 보건안전공학과  
(2009. 5. 6. 접수/2009. 10. 9. 채택)

### 요 약

본 연구에서는 우리나라 주요 침엽수종인 소나무(*Pinus densiflora*)와 활엽수종인 굴참나무(*Quercus variabilis*)의 낙엽에 대해 FTIR(Fourier Transform Infrared) 분광계를 이용하여 배출 연소가스 종류 및 농도를 측정하였다. 실험결과 소나무와 굴참나무 낙엽에서 Carbon monoxide, Carbon dioxide, Acetic acid, Butyl acetate, Ethylene, Methane, Methanol, Nitrogen dioxide, Ammonia, Hydrogen Fluoride, Sulfur dioxide, Hydrogen bromide 등 13개 연소가스가 검출되었고 굴참나무 낙엽에서는 Nitrogen monoxide가 추가로 검출되었다. 방출된 연소가스의 전체 농도는 소나무 낙엽이 굴참나무 낙엽에 비해 4.5 배 많이 검출되었다. 특히, 시간가중평균가스농도(Time-Weighted Average, TWA, ppm) 기준을 초과하는 연소가스는 Carbon monoxide, Carbon dioxide, Butyl acetate가 검출되었고 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit, STEL, ppm) 기준을 초과하는 연소가스는 Carbon monoxide, Carbon dioxide로 소나무 및 굴참나무 모두에서 나타났다. 이에 산불에서의 낙엽의 지표화 연소시 전체 가스 방출량의 99% 이상을 차지하고 있는 Carbon monoxide, Carbon dioxide의 건강 위험성이 높은 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

Based on fallen leaves of major Korean conifer species '*Pinus densiflora*' and major Korean broad-leaved species '*Quercus variabilis*', this study sought to identify combustion emission gas types and measure their concentration by means of FTIR (Fourier Transform Infrared) spectrometer. As a result, it was found that there were total 13 types of combustion gas detected from fallen leaves of *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis*, such as carbon monoxide, carbon dioxide, acetic acid, butyl acetate, ethylene, methane, methanol, nitrogen dioxide, ammonia, hydrogen fluoride, sulfur dioxide and hydrogen bromide. Notably, nitrogen monoxide was additionally detected from fallen leaves of *Quercus variabilis*. It was found that the overall concentration of combustion gas emitted from the fallen leaves of *Pinus densiflora* was 4.5 times higher than that from fallen leaves of *Quercus variabilis*. Particularly, it was found that emission concentration of some combustion emission gas types like carbon monoxide, carbon dioxide and butyl acetate exceeded the upper limit of their time-weighted average (TWA, ppm), while the emission concentration of carbon monoxide and carbon dioxide exceeded their short-term exposure limit (STEL, ppm) for both species. Thus, it was found that carbon monoxide and carbon dioxide have higher hazard to health than other gas types, because these two gas types account for higher than 99% of overall gas emission due to combustion of surface fire starting from litter layer in forest.

**Key words** : Forest fire, Surface fuel beds, Combustion gas, Health hazard

<sup>†</sup>E-mail: eskim@hoseo.edu

**Table 1.** Status of an Annual Forest Fire and Human Damage (Source: 2008 Forest Service Statistics)

| Status \ Year               | 1999 | 2000   | 2001 | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006 | 2007 | 2008 | Annual Ave. |
|-----------------------------|------|--------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------------|
| <b>• Forest Fire Status</b> |      |        |      |       |      |       |       |      |      |      |             |
| Fires                       | 315  | 729    | 785  | 599   | 271  | 544   | 516   | 405  | 418  | 389  | 497         |
| Damaged Area (ha)           | 473  | 25,607 | 963  | 4,467 | 133  | 1,588 | 2,067 | 254  | 230  | 227  | 3600        |
| <b>• Human Damage</b>       |      |        |      |       |      |       |       |      |      |      |             |
| Mortality                   | 5    | 13     | 13   | 12    | 9    | 10    | 10    | 4    | 9    | 6    | 10          |
| Injury                      | -    | 17     | 7    | 7     | -    | 1     | -     | 1    | -    | -    | 4           |
| Total                       | 5    | 30     | 20   | 19    | 9    | 11    | 10    | 5    | 9    | 6    | 14          |



**Figure 1.** (a) MODIS Aqua satellite image (2008. 3. 11) of Far East Russia Forest Fire Smoke and (b) an air pollution by forest fire in Khabarovsk, Russia (Source: Global Fire Monitoring Center and Pacific Forest Forum).

## 1. 서 론

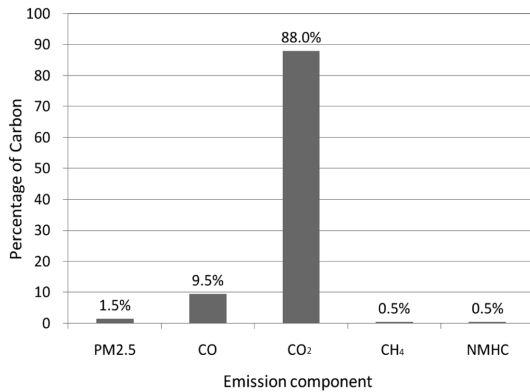
우리나라는 최근 10년 평균(1999~2008) 약 497건의 산불 발생으로 인해 Table 1과 같이 약 3,600ha의 산림피해와 인명피해가 발생되고 있다. 특히 대부분의 인명피해는 연기 질식에 의한 것으로 농촌 고령자의 연기 질식에 의한 사망 및 부상 사례가 매년 발생되고 있다. 외국의 경우, 80만 ha의 산림피해와 251명의 사망자를 기록한 1997년 7월 인도네시아 칼리만탄 산불(Kalimantan Fire)로 발생한 연무로 인해 인접 7개국으로 이동되어 도시형 대기오염과 겹쳐져 주민에게 호흡곤란 등을 일으켜 7,000 만 명의 환자와 2,000만 명의 입원환자가 발생하였고 이중 17명의 사망자가 발생하였으며 연무로 인한 시계감소로 항공기가 추락하여 234명의 사망자를 발생시켰다.<sup>3)</sup> 극동러시아에서도 매년 산

불로 발생하는 연무로 인해 연기 질식 및 호흡기 질환자가 증가하는 것으로 보고되어지고 있다. Figure 1은 2008년 3월 11일 극동러시아 산불발생으로 인한 연무 위성영상 및 러시아 Khabarovsk시의 공기오염에 대해 보여주고 있다. 이에 본 연구에서는 FTIR(Fourier Transform Infrared) 분광계를 이용하여 산림내 낙엽연소시 발생하는 연소가스에 대해 정량정성분석을 통해 위험성을 평가하고자 하였다.

## 2. 이론적 배경

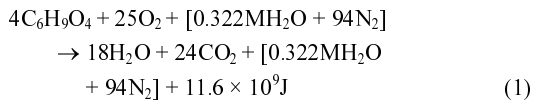
### 2.1 산불발생시 연소가스

산림연료의 연소는 셀룰로오스로 구성된 탄소중합체의 산화반응으로 식(1)과 같이 설명할 수 있다. 수증기의 경우에는 산림의 연료가 함유하고 있는 수분함유량



**Figure 2.** The average distribution of carbon between the primary products of combustion for broadcast burns of logging slash.

이 열에 의해 증발하여 대기 중으로 방출되는 것으로 실제 산림연료가 함유하고 있는 수분함유량이 대부분 산불로 인한 열에 의해 대기 중으로 방출되어진다. 산림연료의 산화반응시 생성되는 연무의 대부분이 탄소의 산화반응에 의한 이산화탄소 및 일산화탄소로 배출된다고 볼 수 있다(Ward *et al.*, 1991).



여기서, 임내 연료의 종류에 따라 각기 다르게 함유하고 있는 특정 화학성분에 대한 함유하고 있는 특정 화학물에 대한 연소반응은 고려되지 않았으며 Figure 2와 같이 비메탄계탄화수소(Nonmethan Hydrocarbons, NMHC) 가스들이 방출되는 것을 알 수 있다. 연소가스의 대부분인 약 88%의 이산화탄소와 9.5%의 일산화탄소로 구성되어 있는 것으로 보고되었다. 하지만 소량의 NMHC 계열의 연소가스 및 독성가스에 대해서는 제시된 바 없다. 하지만 1993년 이후 Ward *et al.*에 의해 주요 연소가스 및 미세먼지에 대한 추정량 알고리즘 개발 및 연소가스 발생량 비율산정 모델이 개발된 바 있다.

Ward *et al.*(1996)은 savanna 지역의 주요 연료인 초지와 부엽층에 대한 보정연소효율에 대해 식 2와 같이 제시하였고( $R^2 = 0.68$ )다.<sup>7)</sup> 하지만 연소효율에 따른 각 산림연료별 연소가스 및 NMHC발생량은 아직 제시되지 않았다.

$$MCE = 0.85 + 0.111G/(L + G)^{0.34} \quad (2)$$

여기서, G는 초지(Grass)의 총 질량, L은 부엽토(Litter)의 총 질량, MCE는  $\Delta CO_2/(\Delta CO_2 + \Delta CO)$ 로 정의되는 보정연소효율(Modified Combustion Efficiency)로 일반적인 탄소량으로 환산되는 Biomass량에 대한 연소량의 무게비로 표현되는 연소효율(Combustion Efficiency, CE)보다 실제 환경에서 측정하기 더욱 쉬우며 탄소화합물에 대한 연소량 측정에 보다 많은 장점을 가지고 있다. 순수 화염연소의 경우, MCE는 0.97~0.99 값을 가지며 훈소연소(smoldering fire)의 경우에는 0.75~0.85 값을 가진다.<sup>11)</sup>

이러한 연소효율에 의해 방출되는 연기량은 건강에 대한 위험성은 허용노출한계농도(PELs, ppm)로 평가된다. 일반적인 노출허용에 대한 기준은 시간가중평균치(Time Weighted Average, TWA)와 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit, STEL)으로 평가할 수 있다. 시간가중평균치는 식(3)과 같이 1일 8시간 작업을 기준으로 하여 유해요인의 측정치에 발생시간을 곱하여 9시간으로 나눈 값을 말한다.

$$TWA = \frac{C_1T_1 + C_2T_2 + \dots + C_nT_n}{8} \quad (3)$$

여기서, C는 연소가스의 측정치(ppm or mg/m<sup>3</sup>), T는 연소가스 발생시간(h)이다.

단시간노출기준은 1회 15분간 노출되는 기준으로 1회 노출간격이 1시간 이상인 경우, 1일 작업시간 동안 4회까지 노출이 허용될 수 있는 기준을 말한다.

## 2.1 적외선 분광계

적외선 분광계는 적외선(IR)을 이용한 미지시료의 spectrum 분석을 통해 공기 중 검출가스에 대해 정성정량분석을 할 수 있다. 특히, 본 연구에서 사용한 FTIR 적외선 분광분석기는 미지의 연소가스 시료를 판별하는데 있어 기 분석된 각 가스물질별 흡수파장대 자료를 가지고 있어 동시에 150여개 이상의 가스물질을 판별할 수 있는 장치이다. 적외선 분광계는 각 분자가 다양한 화학결합의 진동에너지와 일치하는 파장에서 빛을 흡수하는 성질을 이용해 빛의 흡수정도를 검출기에 의해 측정하는 것이다. 결과적으로 Spectrum은 분자가 빛을 흡수하는 파장에 일치하는 Peak를 나타내며 흡광도의 크기는 시료 중 분자의 농도와 직접 연관되어 있다. Spectrum-Pattern은 고유의 뒤틀림, Band, 회전 및 각 원자들의 화학결합의 회전 및 진동 등 분자의 실제 구조를 반영한다. 한 분자를 구성하고 있는 원자들은 외부 자극에 의해 움직이며, 적외선은 가시광선이나 자외선처럼 전자 전이를 일으킬 정도로 충분한 에너지를

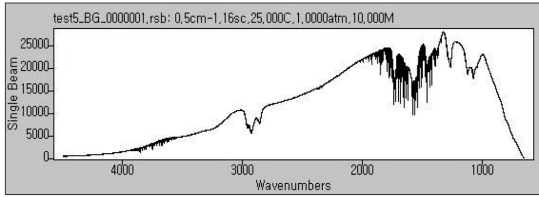


Figure 3. The background wavenumbers of FTIR.

갖지 못하므로 작은 에너지차가 존재하는 분자에 흡수 되어 분자진동과 회전운동을 일으킨다. 진동운동의 방식은 원자들 사이의 결합길이 가 변하는 신축운동 (Stretching Vibration)과 원자들 사이의 결합각이 변하는 굽힘(Bending) 또는 변형(Deformation)진동으로 구분할 수 있는데 진동 운동을 일으키기 위해서는 결합의 종류와 세기, 결합을 하고 있는 원자의 종류에 따라 고유한 진동 주파수에 해당하는 빛 에너지를 흡수 해야 한다. 적외선을 물질에 주사하면 이들이 진동을 일으키는데 필요한 주파수의 빛을 흡수하여 이 에너지에 대응하는 특성적인 적외선 Spectrum을 나타나게 된다. 즉 농도(concentration)에 따라 스펙트럼이 달라진다. 시료에 적외선을 비추어서 유기화합물을 구성하는 기(基)는 각각 거의 고유의 진동 스펙트럼을 제공함으로써 흡수 파장대로부터 Figure 3의 각 물질별 고유파장대 스펙트럼 분석을 통해 정성(定性)분석과 흡수강도에서 정량(定量)분석이 가능하다. 본 논문에서는 우리나라 침·활엽수 대표수종인 소나무, 굴참나무의 낙엽에 대해 연소가스 분석을 실시하였다.

### 3. 실험방법

공시재료의 연소시 발생하는 가스의 정확한 가스 성분 및 농도측정을 위해 Table 2와 같이 소나무, 굴참나무 낙엽 20 ± 1g의 연소중량으로 함수율 15 ± 2%의 낙엽을 ISO착화성 시험기에 20kW/m<sup>2</sup>의 복사열에 의한 자연발화조건으로 일정시간 훈소연소를 시작하여 화염연소, 소염연소로 진행되는 각 단계 과정별 모니터링하여 연소가스 방출 특성을 조사하였으며 10l/min의 유

Table 2. Condition of Combustion Emission Gas Analysis to *P. densiflora*, *Q. variabilis*

| Fuel Weight (g) | Fuel Moisture Contents (%) | Heat Energy (kW/m <sup>2</sup> ) | Indraft Volume (l/min) |
|-----------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 20 ± 1          | 15 ± 2                     | 20                               | 10                     |

입속도로 측정하였다. 실험연소 물량이 많아지면 식(1)에 의해 연소 가스량도 많아지게 되어 본 실험에서는 착화성 시험기기의 시험물량에 맞는 중량으로 실험하였다.<sup>2-5)</sup>

수분함유량(Fuel Moisture Contents, FMC)은 식(4)와 같이 산출할 수 있다.

$$FMC(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (4)$$

여기서, W<sub>1</sub>은 건조전 중량, W<sub>2</sub>는 건조중량이다.

연소가스 성분 및 농도분석을 위해 적외선분광계 실험방법은 정밀한 측정을 위해 먼저 FTIR기기 분석 장치 내부의 오염제거를 위하여 질소가스(dry nitrogen gas) 및 액체질소가스(liquid nitrogen gas)로 흡입관 세척 및 냉각 등의 초기화 과정을 실시하였다. 이때 대기압 조건은 1기압 상태인 14.7psi 조건으로 초기화하였다. FTIR의 고유분석파장대가 Figure 3과 같이 나타나지만 분석하고자 하는 가스성분의 Noise 문제없이 분석을 실시 할 수 있다. 이러한 Background가 준비 후 FTIR기기와 연결된 분석컴퓨터에서 표준흡수파장대 신호 상태를 확인하여 수분 및 이산화탄소가 깨끗이 제거 된 상태에서 실험을 실시하였다. 연소물질의 연소가스 성분 및 농도를 측정하는 검출기(Cell-body)에 유입도록 실험시 유입(Inlet)부분을 개방하여 낙엽연소 가스가 유입되고 다시 검출기의 유출(outlet)부분으로 방출되도록 하였다. 가스종의 분석은 Figure 3의 적외선분광계 가스검출 파장대 스펙트럼에서 각각의 가스종이 가지는 고유 파장대를 비교하여 정성 분석을 실시한다. 여기서 Figure 4는 여러 검출가스종의 흡수 파장대 중에서 이산화탄소 및 일산화탄소에 대한 스펙트럼으로 이산화탄소 및 일산화탄소의 표준 스펙트럼 범위는 각각 3659.725~3759.137, 2034.691~2412.331이다. 여기서 파장대의 좌변축은 흡수량을 나타낸다. 검출된 연소가스의 정성분석을 위해 Figure 4와 같이 FTIR분석기의 가스종류별 흡수 파장대와 파장대역 분류법(Bands Classification)을 이용하였고 정량분석을 위해서는 검출된 농도를 식(5)에 의해 방출량을 산정하였다. 여기서 방출량 계산은 표준상태(Standard Temperature and Pressure, STP)조건으로 산정하였다.

$$Q_s = C \times V_g \times t_b \times A \quad (5)$$

여기서, Q<sub>s</sub>는 연소가스량(g), C는 가스방출농도(mg/l), V<sub>g</sub>는 적외선분광계 흡입가스유량(l/min), t<sub>b</sub>는 연소가스측정시간(sec), A는 단위환산계수이다.

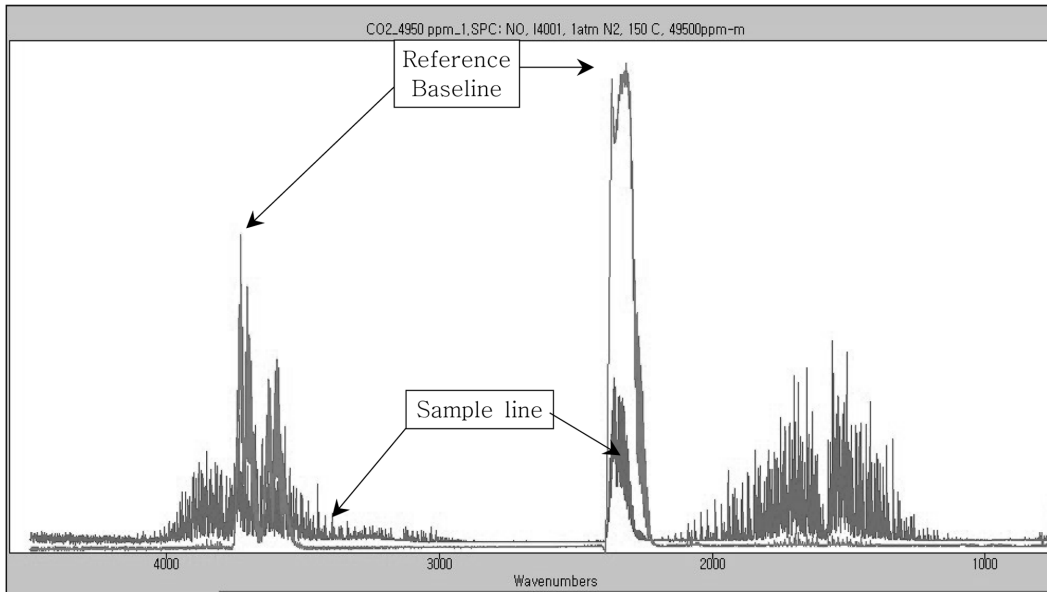


Figure 4. A detection spectrum of CO<sub>2</sub> emission gas.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 낙엽연소 검출가스 정성분석

소나무와 굴참나무 낙엽의 연소시 검출된 가스는 표준 흡수 파장대 분석을 통해 Carbon monoxide, Carbon dioxide, Acetic acid, Butyl acetate, Ethylene, Methane, Methanol, Nitrogen dioxide, Ammonia, Hydrogen Fluoride, Sulfur dioxide, Hydrogen bromide 등 13종이 검출되었고 굴참나무 낙엽에서는 Nitrogen monoxide가 추가로 검출되었다(Table 3). 이중 나무를 구성하는 원

소가 아닌 Bromide, Fluoride 등의 화합물 경우, 지표면에 놓여진 낙엽이 토양의 오염에 의한 검출 및 연료의 특정 화학물질로부터 발생될 수 있다. 따라서 이에 대한 정성분석 등의 검토가 필요하다.

##### 4.2 낙엽연소 검출가스 정량분석

소나무 낙엽연소시 검출된 13종의 가스농도 분석결과 이산화탄소가 약 90%로 가장 많이 검출되었고 일산화탄소가 약 9.5%로 검출되었다.

굴참나무 낙엽 연소시 검출가스 14종의 농도분석 결

Table 3. Accumulation Concentration & Emission Amount of Combustion Gases to *P. densiflora*, *Q. variabilis*

| Fuel                 | Gases               | Carbon Monoxide      | Carbon Dioxide      | Acetic Acid    | Butyl Acetate    | Ethylene | Methane           | Nitrogen Dioxide  |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|
|                      |                     | <i>P. densiflora</i> | Concentration (ppm) | 3493.85        | 33225.122        | 57.591   | 25.603            | 21.822            |
|                      | Emission Amount (g) | 174.71               | 1690.8              | 2.93           | 1.3              | 1.11     | 1.08              | 1.04              |
| <i>Q. variabilis</i> | Concentration (ppm) | 850.106              | 7339.321            | 18.69          | 6.292            | 5.434    | 5.239             | 6.42              |
|                      | Emission Amount (g) | 18.08                | 156.09              | 0.39           | 0.13             | 0.12     | 0.11              | 0.14              |
| Fuel                 | Gases               | Ammonia              | Hydrogen Fluoride   | Sulfur Dioxide | Hydrogen Bromide | Methanol | Hydrogen Chloride | Nitrogen Monoxide |
|                      |                     | <i>P. densiflora</i> | Concentration (ppm) | 14.373         | 8.539            | 6.845    | 6.567             | 5.562             |
|                      | Emission Amount (g) | 0.73                 | 0.43                | 0.35           | 0.33             | 0.29     | 0.12              | None              |
| <i>Q. variabilis</i> | Concentration (ppm) | 4.894                | 0.626               | 2.303          | 3.489            | 2.571    | 0.689             | 1.484             |
|                      | Emission Amount (g) | 0.1                  | 0.02                | 0.05           | 0.08             | 0.05     | 0.02              | 0.03              |

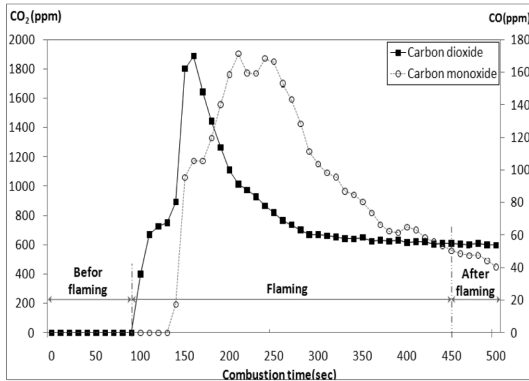


Figure 5. *P. densiflora* CO, CO<sub>2</sub> emission concentration variation during combustion.

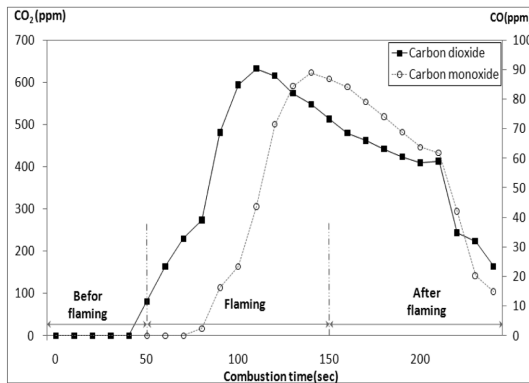


Figure 6. *Q. variabilis* CO, CO<sub>2</sub> emission concentration variation during combustion.

과, 이산화탄소가 약 89%, 일산화탄소가 약 10%로 검출되었다. 따라서 탄소복합체로 구성된 셀룰로오스의 연소시 이산화탄소와 일산화탄소의 연소가스가 전체 방출가스의 약 90% 이상을 차지하였다. 여기서 식 5에 의해 산출된 방출된 연소가스의 전체량은 소나무 낙엽이 굴참나무 낙엽에 비해 4.5배 많이 검출되었다. Figure 5와 6은 각각 소나무 낙엽과 굴참나무 낙엽의 연소시 발생하는 연소시간대별 이산화탄소, 일산화탄소 방출농도변화를 분석하였다. 연소반응시 화염연소와 혼소연소 상태의 각 가스 방출량은 Table 4와 같이 소나무 낙엽의 경우, 화염연소:혼소연소의 이산화탄소, 일산화탄소 방출 비율은 각각 8:2, 8.4:1.6이고 굴참나무 낙엽은 각각 5.3:4.7, 4.5:5.5의 비율로 방출되었다. 이는 화염연소지속시간이 굴참나무에 비해 소나무 낙엽이 약 3.75배 길게 나타났기 때문이다(Figure 5, 6).<sup>2,6)</sup>

Table 4. Condition of Combustion Emission Gas Analysis to *P. densiflora*, *Q. variabilis*

| Oxidation gases      |                 | Emission Rate (%) |            |
|----------------------|-----------------|-------------------|------------|
|                      |                 | Flaming           | Smoldering |
| <i>P. densiflora</i> | CO              | 83.55             | 16.45      |
|                      | CO <sub>2</sub> | 79.84             | 20.16      |
| <i>Q. variabilis</i> | CO              | 45.05             | 54.95      |
|                      | CO <sub>2</sub> | 53.13             | 46.87      |

4.3 건강위험성 평가

소나무와 굴참나무 낙엽의 연소시 발생하는 14종 검출가스에 대한 건강위험성 평가는 물질안전보건자료에서 제공하는 노출기준 및 건강위험성 보고에 기재된 사항을 토대로 평가 하였다(Table 5). 이중 대부분의 검출된 연소가스는 호흡곤란과 질식을 유발하고 혈액의 산소공급을 저해하는 혈액이상 증세를 나타내는 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄가스가 확인되었고 신경이상 및 눈자극 증세를 발생시킬 수 있는 염화수소, 메탄올, 이산화질소가 확인되었다. 특히 연소가스의 99% 이상을 배출하는 이산화탄소, 일산화탄소에서 TWA, STEL 농도기준을 Table 3과 Table 5를 각각 비교한 결과, 모두 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

우리나라 주요 침엽수종인 소나무(*Pinus densiflora*)와 활엽수종인 굴참나무(*Quercus variabilis*)의 낙엽에 대해 연소가스 종류 및 농도를 측정 및 건강위험성을 평가한 결론은 다음과 같다.

1. 소나무와 굴참나무 낙엽에서 Carbon monoxide, Carbon dioxide, Acetic acid, Butyl acetate, Ethylene, Methane, Methanol, Nitrogen dioxide, Ammonia, Hydrogen Fluoride, Sulfur dioxide, Hydrogen bromide 등 13개 연소가스가 검출되었고 굴참나무 낙엽에서는 Nitrogen monoxide가 추가로 검출되었다.
2. 방출된 연소가스의 전체 농도는 소나무 낙엽이 굴참나무 낙엽에 비해 4.5배 많이 검출되어 산발 발생시 연무에 의한 건강위험성이 더욱 높다고 볼 수 있다.
3. 시간가중평균가스농도와 단시간노출기준을 초과하는 연소 가스는 Carbon monoxide, Carbon dioxide가 검출되었고 소나무 및 굴참나무 모두에서 나타났다.
4. 이에 산발에서의 낙엽의 지표화 연소시 전체 가스 방출량의 99% 이상을 차지하고 있는 Carbon monoxide, Carbon dioxide의 건강 위험성이 높은 것으로 나타났다.

**Table 5.** Permissible Exposure Limits (PELs) and Health Hazardous of Combustion Emission Gases<sup>7-9)</sup>

| Gases             | Permissible Exposure Limits (PELs) and Health Hazardous |                                                                                                                                           |
|-------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carbon Monoxide   | PELs                                                    | TWA: 50ppm, STEL: 400ppm                                                                                                                  |
|                   | Health Hazardous                                        | Blood Dycrasias, Dyspnoea, Asphyxia                                                                                                       |
| Carbon Dioxide    | PELs                                                    | TWA: 5,000ppm, STEL: 0,000ppm                                                                                                             |
|                   | Health Hazardous                                        | Blood Dycrasias, Dyspnoea, Asphyxia                                                                                                       |
| Hydrogen Chloride | PELs                                                    | TWA: 200ppm, STEL: 250ppm                                                                                                                 |
|                   | Health Hazardous                                        | Skin Stimulus, Eye Stimulus, Central Nervous System Inhibition, Nerve Dycrasias                                                           |
| Sulfur Dioxide    | PELs                                                    | TWA: 1mg , STEL: - ppm                                                                                                                    |
|                   | Health Hazardous                                        | Swallow Noxious, the Respiratory Tract Stimulus, Eye Stimulus, Allergicreaction, Carcinogenesis                                           |
| Ammonia           | PELs                                                    | Not Formulated PELs                                                                                                                       |
|                   | Health Hazardous                                        | Not Reported to Target Organs                                                                                                             |
| Methane           | PELs                                                    | Not Formulated PELs                                                                                                                       |
|                   | Health Hazardous                                        | Blood Dycrasias, Dyspnoea, Primary Asphyxia                                                                                               |
| Acetic Acid       | PELs                                                    | TWA: 150ppm, STEL: 187ppm                                                                                                                 |
|                   | Health Hazardous                                        | Skin Stimulus and Allergicreaction, Eye Stimulus, the Kidne and the Liver Dycrasias                                                       |
| Methanol          | PELs                                                    | TWA: 10ppm, STEL: 35ppm                                                                                                                   |
|                   | Health Hazardous                                        | Skin Stimulus, Eye Stimulus, Central Nervous System Inhibition, Nerve Dycrasias                                                           |
| Nitrogen Dioxide  | PELs                                                    | TWA: 100ppm, STEL: 150ppm                                                                                                                 |
|                   | Health Hazardous                                        | The Respiratory Tract Stimulus, Skin Stimulus, Eye Stimulus, Suction Danger, Central Nervous System Inhibition, Carcinogen in Animal Test |
| Ethylene          | PELs                                                    | Not Formulated PELs                                                                                                                       |
|                   | Health Hazardous                                        | Not Reported to Target Organs                                                                                                             |

5. 하지만 검출된 다른 건강 위험성 가스의 경우에도 연소물질의 양이 증가할수록 연소가스의 농도가 높아져 건강안정성에 해가 있을 것으로 판단된다.

6. 검출된 연소가스 중 나무의 주요구성 원소가 아닌 Bromide, Fluoride 등 일부 화합물에 대해서는 향후, 토양으로부터의 오염 등에 의한 검출 및 연료의 특정 화학물질 정성분석 등 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 김동현, 김태구, 김광일, “산림화재종합위험등급화에 관한 연구”, 한국화재소방학회논문지, Vol.15, No.3, pp.49-54(2001).
2. 김동현, 이명보, 강영호, 이시영, “지표물질 착화성 실험을 통한 발화위험성 분석”, 2006 한국방재학회 학술발표대회 논문집, pp379-384(2006).
3. AP로이터 통신, “동남아 연무대란 또 오나”, 신문스 크랩(2008).
4. 박형주, 김응식, 김장환, 김동현, “복사열을 이용한 소 나무와 굴참나무 낙엽의 연소특성 분석”, 한국화재소 방학회논문지, Vol.21, No.3, pp.33-41(2007).
5. 김장환, 김응식, 박형주, 이명보, 김동현, “지표화 연 료의 열량분석에 관한 실험방법 연구”, 한국화재소방 학회논문지, Vol.22, No.3, pp.258-264(2008).
6. D.H. Kim, “Forest Fire Risk Assessment through Analyzing Ignition Characteristics of Forest Fuel Bed“, V International Conference on Forest Fire Research, pp.30-31(2006).
7. D.E. Ward, W.H. Hao, R.A. Susott, R.E. Babbitt, R.W. Shea, J.B. Kauffman, and C.O. Justice, “Effect of Fuel Composition on Combustion Efficiency and Emission Factors for African Savanna Ecosystems”, J. Geophys. Res., Vol.101, No.23, pp.569-23,576 (1996).
8. 산업안전관리공단, 물질안전보건자료(material safety data sheets, MSDS) (2009).
9. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), “TLV (Threshold Limit Value)

- of MSDS“(2009).
10. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), “PEL(Permissible Exposure Limit) of MSDS”(2009).
11. Robert J. Yokelson, “SAFARI 2000 Fire Emission Data, Dry Season 2000”, Initial data report, University of Montana(2000).