

**P-10**

**영동지역 주요 수종별 낙엽과 생엽의 착화특성에 관한 연구**  
**The Ignition Characteristics of Dead Leaves and Living Leaves of Various**  
**Trees in Young Dong Forest Areas**

**박영주\* · 이시영\* · 신영주\* · 김수영\* · 김영탁\*\* · 이해평\*\*\***

**Young-Ju Park\* · Si-Young Lee\* · Young-Ju Sin\* · Su-Young Kim\* · Young-Tak Kim\*\* ·**  
**Hae-Pyeong Lee\*\*\***

Abstract

In this study, we have carried out the test to examine the ignition characteristics, such as a relation of moisture content and combustibility, and ignition temperature using KRS-RG-9000 tester, living leaves and dead leaves of significant 7 species of Young Dong Provinces of Korea after and before the rainfall. After 144 hours at normal temperature, the percentage of water content of the needle-shaped leaves was less than 10%. So it is suppose to be ignite easily. On the other hand, the self-temperature to ignite of broadleaf is higher. So the retard time at lower temperature is more long than needle-shaped leaf. Consequently, the fire-resistant qualities of broadleaf is higher than needle-shaped leaf.

**Keywords** : Living leaves, Dad leaves, Ignition temperature, Moisture content

본 연구에서는 강원도 영동지역 주요 7가지 수종의 낙엽과 생엽을 대상으로 착화특성을 고찰하고자 강우 전과 후의 연료를 채취하여 연료의 함수율과 가연성과의 관계, KRS-RG-9000을 사용하여 착화특성을 고찰하였다. 시험결과 침엽수 낙엽은 강우 후 대기노출로부터 상온에서 144시간 경과 시 함수율이 10% 이하로 건조되어 가연성 물질이 발생할 수 있을 정도로 건조됨을 알 수 있었으며 활엽수는 자연발화온도가 높게 나타나며 따라 저온에서 착화지연시간이 길게 나타나 침엽수보다 내화력이 강함을 알 수 있었다.

**1. 서 론**

우리나라의 산불은 계절풍의 영향을 많이 받는 3~4월에 가장 많이 발생한다. 이는 건조한 날씨가 지속되고 바람이 많이 불어 산림내의 가연물이 건조해지기 때문이다.<sup>1)</sup> 특히, 영동지역은 태백산맥을 넘는 건조한 편서풍이 급격히 하강하면서 와류가 생겨 매끄러운 표면을 가진 동해와 만나므로 풍속이 급격히 증가하여 연소물의 함수율이 10% 이하로 극히 낮아지면서 숲속의 모든 식물들과 지면에 쌓여 있는 낙엽과 가지 등의 연소물이 성냥불 정도에도 발화가 되기 쉽다.<sup>2)</sup> 또한, 건조기후가 계속되면 낙엽층이 쌓여 강풍을 동반할 경우 쉽게 산불이 지표화로부터 수관화로 확산된다. 과거 2000년 동해안 대형 산불의 경우 산불위험경보에 이르는 최악의 기상 상태가 2월 19일부터 4월 19일까지 2개월 동안 계속되었으며 서고동저의 지형적 영향과 높은바람으로 인하여 건조기후가 계속되어 낙엽뿐 아니라 나무자체를 마르게 하여 쉽게 산불이 확산되었다.<sup>3)</sup>

따라서, 본 연구에서는 강원도 영동지역의 임상에서 파악된 주요 7가지 수종인 소나무(Pinus densiflora)와 잣나무(Pinus koraiensis), 리기다소나무(Pinus rigida), 해송(Pinus thunbergii), 굴참(Quercus variabilis), 졸참(Quercus serrata), 떡갈나무(Quercus dentata)를 선정하여 수종별 낙엽과 생엽에 대한 연료의 함수율 및 가

\* 학생회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 박사과정 · E-mail : yjpolymer@kangwon.ac.kr  
정회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 조교수  
학생회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 박사과정  
학생회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 석사과정  
\*\* 학생회원 · 강원대학교 산업대학원 · 석사과정  
\*\*\* 정회원 · 강원대학교 소방방재학부 · 조교수

연성과의 관계, 자연발화온도 및 착화성을 분석하고자 하며 본 실험연구 결과들은 지역별 수목분포에 따른 초기발화 위험성 평가기준의 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

Table 1. Percentages of Moisture Content for Dead Leaves and Living Leaves of Various Trees

| 수 종 |      | 함수율(%) | 낙엽   |       | 생엽    |       |
|-----|------|--------|------|-------|-------|-------|
|     |      |        | 강우 전 | 강우 후  | 강우 전  | 강우 후  |
| 침엽수 | 소나무  |        | 1.43 | 41.67 | 5.79  | 70.00 |
|     | 잣나무  |        | 1.10 | 38.99 | 13.67 | 58.00 |
|     | 리기다  |        | 1.18 | 44.44 | 14.64 | 66.67 |
|     | 해송   |        | 0.88 | 43.38 | 5.61  | 66.10 |
| 활엽수 | 굴참나무 |        | 4.82 | 40.68 | 11.74 | 54.10 |
|     | 졸참나무 |        | 2.80 | 36.63 | 9.66  | 61.29 |
|     | 떡갈나무 |        | 4.37 | 41.05 | 8.28  | 62.07 |

### 2.2 실험방법

연료의 함수율과 가연성과의 관계를 분석하기 위하여 강우 후 연료의 함수율과 대기노출로부터 상온에서 144시간 후의 함수율 변화를 측정하였으며 착화특성을 표현하는데 있어서는 목재의 경우 고온의 건조 하에서 어느 정도 가열시간이 경과하여야만 자연발화 후 착화되므로 다양한 온도에 따른 시간 의미를 부여하는 것이 합리적인 것<sup>4)</sup>으로 연구된 바에 따라 일본 구라모찌사 KRS-RG-9000의 Group식 발화점 시험기를 사용하여 자연발화온도와 자연발화온도 보다 낮은 온도 범위에서 착화지연시간을 측정하였다. 실험조건은 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Experimental Conditions of Moisture Content Analysis

| 구성요소 | 실험조건 | 항 목      |
|------|------|----------|
| 사용모델 |      | OF-12GW  |
| 중량   |      | 200 g    |
| 재료형태 |      | 원형사용     |
| 건조조건 |      | 대기 중(상온) |
| 건조시간 |      | 144 hr   |

Table 3. Experimental Conditions of Ignition Temperature Analysis

| 구성요소      | 실험조건 | 항 목         |
|-----------|------|-------------|
| 사용모델      |      | KRS-RG-9000 |
| 측정방법      |      | Group식      |
| 중량        |      | 20 mg       |
| 시험재료      |      | 원형사용        |
| 발화대기시간(s) |      | 4           |

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 함수율 및 가연성 분석

Table 4와 Table 5는 7가지 수종의 낙엽과 생엽에 대한 강우 후 시간의 변화에 따른 함수율을 나타내었다. 낙엽은 144 시간 경과되면서 함수율이 10% 이하의 가연성 물질이 발생할 수 있을 정도로 건조되었으며 침엽수의 생엽은 10~15%로 건조하게 되어 인화성 연료로 환원되었다.<sup>5)</sup> 임내퇴적물의 함수량과 산불가능성과의 관계는 Table 6에 제시한 바와 같이 건조 할수록 연소되기 쉬워짐을 알 수 있다.

Table 4. Percentages of Moisture Content for Drying Time of Dead Leaves

| 수종 |      | 함수율(%) | 강우 후  | 144시간 후 |
|----|------|--------|-------|---------|
|    |      |        |       |         |
| 낙엽 | 소나무  |        | 41.67 | 6.94    |
|    | 리기다  |        | 38.99 | 7.04    |
|    | 해송   |        | 44.44 | 9.45    |
|    | 잣나무  |        | 43.48 | 5.92    |
|    | 떡갈나무 |        | 40.68 | 10.50   |
|    | 굴참나무 |        | 36.63 | 12.98   |
|    | 졸참나무 |        | 41.05 | 15.04   |

Table 5. Percentages of Moisture Content for Drying Time of Living Leaves

| 수종 |      | 함수율(%) | 강우 후  | 144시간 후 |
|----|------|--------|-------|---------|
|    |      |        |       |         |
| 생엽 | 소나무  |        | 70.00 | 17.94   |
|    | 리기다  |        | 58.00 | 18.90   |
|    | 해송   |        | 66.67 | 15.56   |
|    | 잣나무  |        | 66.10 | 19.84   |
|    | 떡갈나무 |        | 54.10 | 20.84   |
|    | 굴참나무 |        | 61.29 | 21.40   |
|    | 졸참나무 |        | 62.07 | 24.01   |

Table 6. Relation of Moisture Content and Combustibility of Forest Sediment<sup>5)</sup>

| 함수량(%) | 가연성         | 함수량(%) | 가연성           |
|--------|-------------|--------|---------------|
| 26<    | 없음          | 11~13  | 보통(성냥불은 위험)   |
| 19~25  | 아주적음        | 8~10   | 위험(성냥불은 항상위험) |
| 14~28  | 적음(모닥불은 위험) | 2~7    | 아주위험(모든화기위험)  |

#### 3.2 착화특성

Table 7은 7가지 수종의 낙엽과 생엽에 대한 자연발화 온도를 나타내었다. 자연발화온도는 낙엽 227~291 °C사이, 생엽 270~343 °C사이로 나타나 건조한 낙엽이 자연발화온도가 낮게 나타났다. Figure 1과 Figure 2는 수종별 낙엽과 생엽의 착화지연시간을 나타내었다. 착화지연시간은 자연 발화되기 까지 걸리는 시간을 말하며 착화지연시간은 침엽수보다 활엽수가 자연발화온도가 높게 나타남에 따라 활엽수가 동일온도에서 착화지연시간이 길게 나타났다. 이에 대하여 Table 8과 Table 9에 나타내었다. 이러한 결과는 연료의 함수율에 따라 착화성에도 영향을 받아 적용되고 있는 것과 활엽수가 침엽수보다 내열성이 강하기 때문<sup>6)</sup>인 것으로 사료된다.

Table 7. Experimental Results of Ignition Temperature

| 수종  | 구분   |     | 낙엽(°C) | 생엽(°C) |
|-----|------|-----|--------|--------|
|     | 소나무  | 리기다 |        |        |
| 침엽수 | 소나무  |     | 227    | 270    |
|     | 리기다  |     | 248    | 305    |
|     | 해송   |     | 258    | 313    |
|     | 잣나무  |     | 260    | 320    |
| 활엽수 | 떡갈나무 |     | 280    | 321    |
|     | 굴참나무 |     | 288    | 325    |
|     | 줄참나무 |     | 291    | 343    |

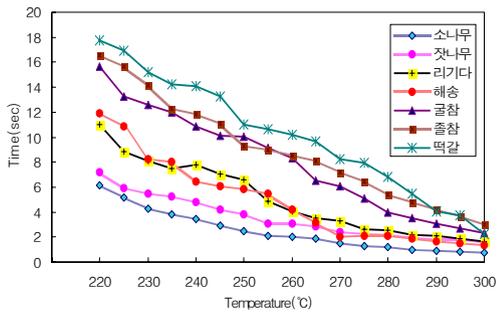


Figure 1. Ignition time of dead leaves of various trees.

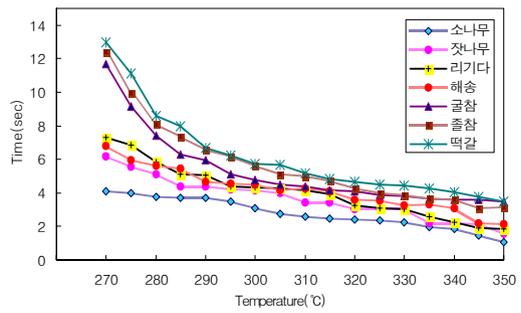


Figure 2. Ignition time of living leaves of various trees.

Table 8. Ignition Time of Dead Leaves of Various Trees

| 온도(°C) \ 수종 | 소나무(s) | 잣나무(s) | 리기다(s) | 해송(s) | 굴참나무(s) | 줄참나무(s) | 떡갈나무(s) |
|-------------|--------|--------|--------|-------|---------|---------|---------|
| 220         | 6.15   | 7.19   | 10.99  | 11.94 | 15.67   | 16.59   | 17.77   |
| 225         | 5.18   | 5.93   | 8.81   | 10.83 | 13.29   | 15.63   | 16.93   |
| 230         | 4.30   | 5.44   | 8.07   | 8.26  | 12.61   | 14.12   | 15.18   |
| 235         | 3.81   | 5.21   | 7.49   | 8.03  | 11.96   | 12.26   | 14.23   |
| 240         | 3.44   | 4.78   | 7.82   | 6.45  | 10.88   | 11.87   | 14.09   |
| 245         | 2.91   | 4.16   | 7.04   | 6.07  | 10.11   | 11.06   | 13.23   |
| 250         | 2.44   | 3.84   | 6.57   | 5.88  | 10.01   | 9.26    | 11.03   |
| 255         | 2.11   | 3.09   | 4.84   | 5.47  | 9.12    | 8.98    | 10.64   |
| 260         | 2.01   | 3.08   | 4.04   | 4.23  | 8.35    | 8.56    | 10.21   |
| 265         | 1.87   | 2.84   | 3.5    | 3.12  | 6.49    | 8.09    | 9.66    |
| 270         | 1.53   | 2.40   | 3.32   | 2.01  | 6.03    | 7.22    | 8.24    |
| 275         | 1.26   | 2.21   | 2.63   | 2.11  | 5.09    | 6.47    | 7.91    |
| 280         | 1.19   | 2.19   | 2.58   | 2.08  | 4.00    | 5.43    | 6.78    |
| 285         | 0.97   | 1.94   | 2.19   | 1.87  | 3.53    | 4.83    | 5.47    |
| 290         | 0.91   | 1.83   | 2.07   | 1.62  | 3.09    | 4.17    | 4.03    |
| 295         | 0.85   | 1.77   | 1.89   | 1.48  | 2.72    | 3.68    | 3.78    |
| 300         | 0.76   | 1.58   | 1.65   | 1.33  | 2.29    | 3.00    | 2.28    |

Table 9. Ignition Time of Living Leaves of Various Trees

| 수종<br>온도(°C) | 소나무(s) | 잣나무(s) | 리기다(s) | 해송(s) | 굴참나무(s) | 졸참나무(s) | 떡갈나무(s) |
|--------------|--------|--------|--------|-------|---------|---------|---------|
| 270          | 4.08   | 6.18   | 7.29   | 6.78  | 11.66   | 12.39   | 12.98   |
| 275          | 3.98   | 5.54   | 6.88   | 5.93  | 9.13    | 9.96    | 11.12   |
| 280          | 3.74   | 5.13   | 5.86   | 5.59  | 7.41    | 8.11    | 8.57    |
| 285          | 3.71   | 4.36   | 5.13   | 5.46  | 6.28    | 7.36    | 7.96    |
| 290          | 3.68   | 4.41   | 5.08   | 4.69  | 5.96    | 6.58    | 6.69    |
| 295          | 3.47   | 4.19   | 4.37   | 4.57  | 5.12    | 6.17    | 6.23    |
| 300          | 3.10   | 4.16   | 4.31   | 4.49  | 4.77    | 5.59    | 5.72    |
| 305          | 2.76   | 4.00   | 4.26   | 4.13  | 4.49    | 5.09    | 5.66    |
| 310          | 2.61   | 3.45   | 4.18   | 4.27  | 4.37    | 5.01    | 5.18    |
| 315          | 2.49   | 3.43   | 3.94   | 4.12  | 4.18    | 4.73    | 4.84    |
| 320          | 2.41   | 3.06   | 3.25   | 3.59  | 4.08    | 4.26    | 4.66    |
| 325          | 2.38   | 3.03   | 3.11   | 3.54  | 3.90    | 4.01    | 4.47    |
| 330          | 2.25   | 3.01   | 3.03   | 3.27  | 3.83    | 3.88    | 4.44    |
| 335          | 1.99   | 2.21   | 2.56   | 3.29  | 3.64    | 3.65    | 4.26    |
| 340          | 1.83   | 2.18   | 2.22   | 3.11  | 3.61    | 3.59    | 4.03    |
| 345          | 1.45   | 2.14   | 1.93   | 2.20  | 3.58    | 3.11    | 3.79    |
| 350          | 1.08   | 1.57   | 1.87   | 2.11  | 3.47    | 3.13    | 3.47    |

#### 4. 결 론

본 연구에서는 영동지역 산림 내 주요 7가지 수종의 낙엽과 생엽을 대상으로 함수율과 가연성과의 관계, 자연발화온도 및 착화지연시간 분석결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- 1) 수종별 낙엽과 생엽에 대한 강우 후 함수율 분석 결과로는 낙엽은 36.63~44.44%, 생엽은 54.10~70.00%로 나타났으며 강우 후 144시간 경과되면서 침엽수는 활엽수보다 평균 1.2배 정도 작게 수분을 함유하고 있었으며 낙엽은 생엽보다 평균 1.1배 정도 작게 수분을 함유하고 있었다. 따라서 침엽수 낙엽의 경우 함수량이 10% 이하로 저하되어 인화성이 강한 연료로 환원됨을 알 수 있었다.
- 2) 자연발화온도 측정 및 착화지연시간 분석 결과로는 낙엽이 생엽보다 자연발화온도가 낮게 나타나 낙엽은 생엽보다 착화위험성이 크게 나타남을 알 수 있었으며 착화지연시간은 활엽수가 자연발화온도가 높게 나타남에 따라 동일한 온도에서 침엽수보다 활엽수가 착화가 지연되는 것을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 이시영, 한상열, 오정수, 조명희, 김명수, “강원도지역 산불발생인자의 지역별 유형화”, 한국농림학회 논문지, Vol. 3, No. 3, p.137(2001).
2. 임주훈, 이병두, 정주상, “동해안지역의 산불기상”, 한국농림기상학회, 춘계학술발표논문집 pp.119-120(2001).
3. 정광수, “산불의 예방 및 진화대책”, 삼림과학연구원, 제17권(2000).
4. 김춘중, “목재의 연소특성(1)”, 한국연소학회 논문지, Vol. 4, No. 2, pp.11-20(1990).
5. 이시영 외, “삼림 환경보전학”, 향문사, pp.339-358(2007).
6. 김동현, 이명보, 강영호, 이시영, “지표물질 착화성 실험을 통한 발화위험성분석”, 한국방재학회, 춘계학술발표지, pp.379-384(2006).