한국환경생태학회 학술대회논문집 20(2) : 213~216. 2010
Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con. 20(2) : 213~216. 2010]

경북 봉화지역의 소나무림 수관층 연료 특성 및 연소량 추정

Crown Fuel Characteristics and Burning Load of *Pinus densiflora* Stands in Bonghwa, Gyeongbuk

장미나[1] · 이영진[1] · 서연옥[1] · 박상문[1] · 김성용[1] · 이병두[2] · 구교상[2] · 이명보[2]

[1]공주대학교 산림자원학과, [2]국립산림과학원 산림방재연구과

서 론

산불 발생이 자연 생태계 및 사회에 미치는 영향은 그 규모와 형태 또는 위치에 따라 매우 다양하다. 그러나 우리나라 산지는 경사가 급하고 지형적인 변화가 매우 심하기 때문에 한 번 산불이 발생할 경우 대형화될 가능성이 대단히 높다(산림청, 1996; 류장혁과 이광원, 1996; 동해안산불피해지 공동조사단, 2000). 이러한 산불의 대형화는 지표화가 아닌 수관화로 인해 발생하는데, 수관화는 지표화에 비해 산불확산 속도가 작게는 3-4배, 크게는 20여배 까지 증가하며, 수관층의 잎과 잔가지가 연소되면서 높은 화염이 생성되고 상승기류로 인해 비화물질이 발생하기도 한다. 또한 불의 강도가 심하기 때문에 접근이 어려워 인력 진화가 사실상 불가능하고 대부분 공중진화에 의존하고 있다(구교상 등, 2010). 이러한 수관화로의 확산에 있어서 여러 가지 중요한 요소가 있는데, 그 중 수관층 연료 특성은 수관화의 발생과 성질에 영향을 주는 중요한 요소이다(Scott and Reinhardt, 2001). 국외의 연구에 따르면 지표층에서 수관층까지의 거리, 수관연료의 양, 잎의 수분함량, 그리고 수관연료밀도와 같은 몇 개의 수관 연료 특성들이 수관화 발생 후의 상태와 발생 범위까지 영향을 미치고 뿐만 아니라 임관 피복, 임목의 수고 등과 바람의 감소, 고사한 연료의 수분함량에 의한 표면적인 불의 반응 까지도 부차적으로 수관화 발생 범위에 영향을 준다고 하였다(Reinhardt *et al*., 2006). 이러한 수관층 연료특성과 그 기작에 대한 연구는 다양하게 전개되고 있다. 하지만 국내 구교상 등(2010)의 대구 팔공산 지역 소나무의 수관층 연료 특성을 분석한 연구 외에 산불 관점에서 수관층의 연료 특성을 분석하고, 수관층 연료량을 추정할 수 있는 상대생장식에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 수관화가 잘 발생하는 우리나라 소나무림을 대상으로 수관화의 발생을 예방하기 위한 수관화 예측모델의 기초자료로 활용하는데 이바지 하고자 하였으며, 향후 수관화에 관한 후행 연구에 도움이 되고자 하였다.

재료 및 방법

1. 자료 수집

경상북도 봉화지역의 소나무림 중 산불이 발생한 피해지와 미피해지 두 곳을 선정하여 직경급 별로 고른 분포를 가지도록 각각 10본씩 표준목으로 선정하였다. 표준목을 지표면에 최대한 가깝게 벌채한 후 수관층 연료량의 수직적 분포를 추정하고자 소나무를 1m 간격으로 절동하고, 수간, 잎, 가지로 구분한 다음 각각의 무게를 측정하였다. 이 때 수관이 차지하고 있는 체적을 산출하기 위하여 1m 단위별로 수관 폭을 장축과 단축으로 구분하여 측정하였다. 이때 단축은 장축의 수직방향으로 측정하였다. 수분함량 및 건중량을 측정하기 위해 각 소나무 부위별로 20% 이상의 샘플을 채취하였다(구교상 등, 2010).

2. 분석 방법

1) 수관층 연료 구분

국내의 연구를 살펴보면 구교상 등(2010)은 잎과 가지, 솔방울로 크게 구분하고, 각 부위의 생, 사를 구분한 다음, 가지는 다시 0.5cm 이하, 05-1cm, 1-2cm, 2-4cm, 4cm 이상으로 구분한 사례를 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내의 연구사례 기준을 그대로 적용하였다.

2) 수분함량

수분함량은 McMilien(1950)과 Brown *et al*., (1949)등이 사용한 Oven drying method에 의하여 구하였으며(이필우와 한관석, 1968), 먼저 현장에서 각 부위별로 20% 이상을 채취한 시료의 중량을 측정한 후 95℃로 설정된 건조기에 넣고 시료가 완전하게 건조되어 무게의 변화가 없는 상태, 즉 항량에 도달했을 때의 무게를 측정한 후 다음 아래의 식을 통해 수분함량을 산출하였다.

$$\text{수분함량}(\%) = \frac{\text{생중량-건중량}}{\text{건중량}} \times 100$$

3) 수직적 연료량과 밀도분포

각 부위별 연료량은 1m씩 나누어진 층위별로 각각의 부위에 대한 연료량을 산출하였다(Scott and Reinhardt, 2006). 연료밀도는 신만용 등(1999)의 수관 형태식 연구결과를 기반으로 1m 단위로 측정된 수관 폭의 장축과 단축의 자료를 이용하여 1m 단위로 수관층의 체적을 산출한 다음 건조된 연료량을 이 수치로 나누어 kg/m³ 단위로 산출하였다.

4) 수관층 연소율과 연소량

연소율 및 연소량을 추정하기 위해 피해지와 미피해지의 바이오매스를 산출하는데, 본 연구에서는 일반적 방법인 대수회귀식을 사용하였다. 대수회귀식의 유형 중 흉고직경만을 독립변수로 하는 logY=A+BlogD 식이 흉고직경과 수고를 독립변수로 하는 식에 비해 오차가 작다(박인협과 김준선, 1989)는 연구결과에 따라 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 logY=A+BlogD 식을 사용하였다. 또한 표본목 자료에 의하여 유도된 바이오매스 대수회귀식과의 적합도 검정을 하였다. 이러한 절차를 걸쳐 추정된 피해지와 미피해지의 바이오매스를 가지고 피해지의 연소율과 연소량을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 표준목의 특성

표본지로 선택된 피해지, 미피해지 소나무 각각 10그루에 대한 기술통계값은 표 1과 같다. 평균 흉고직경은 미피해지 14.0cm, 피해지 14.8cm이고, 평균 수고는 미피해지 8.0m, 피해지 9.1m이었다.

표 1. 표준목의 기술통계값

	직경(cm)	수고(m)	지하고(m)	ha당 본수
미피해지	14.0 7.0－21.0	8.0 6.3－8.9	3.5	2,400
피해지	14.8 6.0－22.0	9.1 6.8－11.3	-	2,500

2. 수분함량

미피해목과 피해목의 평균 수분함량은 미피해목 123%, 피해목 69%로 나타났다. 미피해목의 각 부위별 수분함량은 수간 177%, 0.5cm 이하 가지 96%, 0.5-1cm 가지 113%, 1-2cm 가지 116%, 2-4cm 가지 115% 으로 나타났다. 그림 1에서 보는 봐와 같이 줄기를 제외한 가지의 경우 수분함량이 반 정도 낮아진 것을 알 수 있다. 생엽의 수분함량은 116%로 대구 팔공산 지역의 소나무 생엽의 수분함량 127%보다 작게 나타났다(구교상 등, 2010).

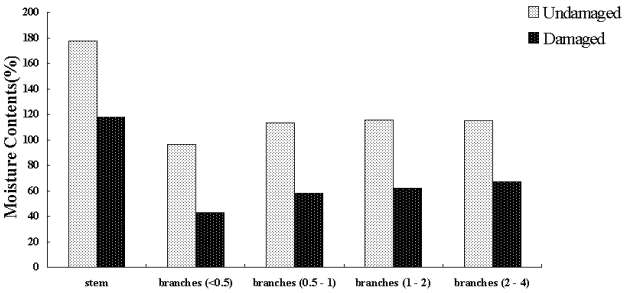

그림 1. 미피해지와 피해지의 수분함량 비교

3. 부위별 연료량 비율 및 수직적 분포

봉화지역 미피해지의 소나무 부위별 건중량 비율은 그림 2에서와 같이 직경이 증가함에 따라 전체의 비율에서 수관부가 차지하는 비율도 증가하는 것을 볼 수 있다. 수관화가 발생하였을 때 연소된다고 볼 수 있는 잎과 1cm 이하의 가지 연료량은 그림 3에서와 같이 수관층에서 62%를 차지하였다. 즉 수관층 바이오매스 중 62%에 해당되는 양이 수관화 확산 시 연소될 수 있는 이용 가능한 연료량(available fuel load)이었다. 이는 구교상 등(2010)의 대구 팔공산 지

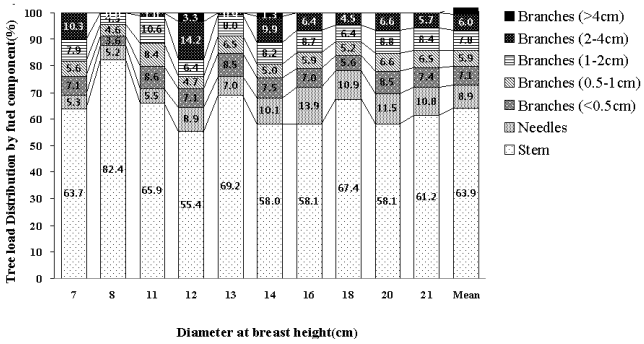

그림 2. 전체연료량에 대한 부위별 비율

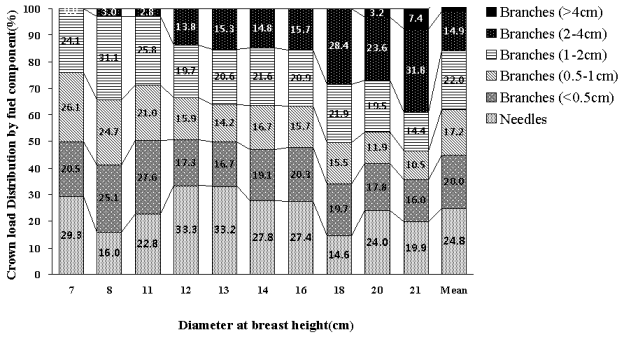

그림 3. 수관연료량에 대한 부위별 비율

역 소나무의 55% 보다 더 높은 값으로 나타났다. 이는 수관화가 발생하였을 때 연소될 수 있는 이용 가능한 연료량이 더 많다는 것을 보여준다.

그림 4의 연료 수직적 분포를 살펴보면 흉고직경과 수고에 상관없이 지하고는 2m 정도에서 변이가 크지 않으며, 수고의 경우 흉고직경 14cm의 소나무를 제외하고는 약간의 증가를 보이나, 전체적인 수고가 8-9m 범위 내에서 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

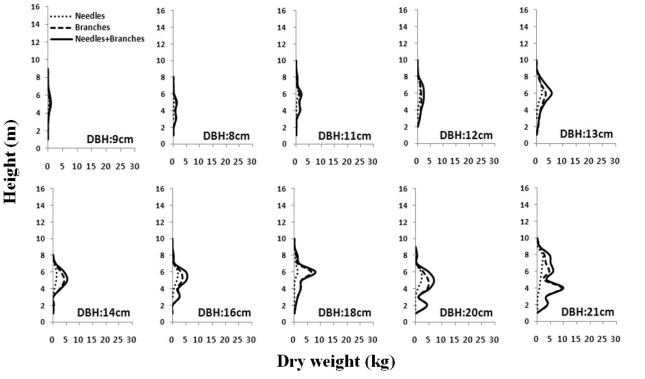

그림 4. 수관연료의 수직적 분포

4. 수관연료밀도

수관 연료밀도는 1㎥당 평균 0.45kg/㎥로 분석되었다. 흉고직경이 커짐에 따라 수관연료밀도는 높아지는 경향을 보이는데, 그림 5에서와 같이 전체적으로 선형관계를 이루고 있는 것을 볼 수 있다. 수관화 연소시 수관층 연료인 잎, 1cm 이하의 가지 연료량은 1㎥당 0.2674kg/㎥로, Sando and Wick(1972)와 Beukema *et al*,.(1977)이 제시한 지표화에서 수관화 전이 가능 최소 기준보다 각각 7.4배, 24.2배 높은 수치여서 지표화에서 수관화 전이 기준을 넘기 때문에 조건 형성 시 수관화로의 확산이 가능한 임상 상태였다.

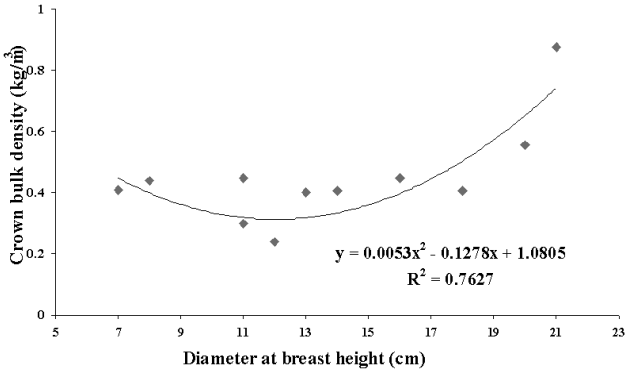

그림 5. 수관층 연료 밀도

5. 수관의 연소율과 연소량

추정한 회귀식의 적합도를 검정하기 위해 상대오차추정치를 산정한 결과 잎을 제외하고 모든 부위가 1.0-1.2 사이로 회귀식의 독립변수와 종속변수 간에 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다(산림 바이오매스 조사 표준매뉴얼, 2006). 대수회귀식을 통하여 추정한 피해목의 수관부 연소율은 표 2에서와 같이 수관 전체 36%로 나타났고, 수관화가 발생하였을 때 연소된다고 볼 수 있는 잎과 1cm 이하의 연소율은 잎 100%, 0.5cm이하 37%, 0.5-1cm 23%로 나타났다.

표 2. 수관부 연소율(%)

	잎	가지(cm)			수관전체
		0.5이하	0.5-1	1-2	
연소율	100%	37%	23%	28%	36%

연소량은 표 3에서와 같이 수관 전체 6,394kg, 잎

3,513kg, 0.5이하 1,108kg, 0.5-1cm 617kg, 1-2cm 925kg으로 나타났다. 이 연소량 수치는 2005년 양양산불 피해 소나무림의 연소량 추정 이병두 등(2005)에 대한 연구에서 산불의 피해도를 「심」, 「중」, 「경」 3단계로 구분하여 산불 연소량을 분석한 사례와 비교하였을 때 「중」에 해당하는 수치였다.

표 3. 수관부 연소량(kg)

	잎	가지(cm)			수관전체
		0.5이하	0.5-1	1-2	
연소량	3,513	1,108	617	925	6,394

인용문헌

구교상, 이병두, 원명수, 이명보. 2010. 대구 팔공산 지역 소나무 수관층 연료 특성. 한국임학회지 99(1):52-56.

동해안산불피해지 공동조사단. 2000. 동해안 산불지역 정밀조사 보고서 Ⅰ. pp. 533

류장혁, 이광원. 1996. 산불의 실태와 대책. 한국 농어촌 경제연구원 정책연구보고 P15.211pp

박인협, 김준선. 1989. 한국산 4개 지역별 소나무천연림의 물질 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78(3):323-330.

산림 바이오매스 조사 표준매뉴얼. 2006. 국립산림과학원 30-37.

산림청. 1996. 산불예방과 진화. 190pp

신만용, 정동준, 이태희. 1999. 우리나라 주요 수종별 수관형태식 개발에 관한 연구. 한국산림측정학회지 2(1):3-11

이병두, 김형호, 장광민, 정주상, 이명보, 이시영. 2005. 2005년 양양 산불 피해 소나무림의 연소량 추정. 한국환경생태학회지 20(2):267-273

이필우, 한관석. 1968. 리기다소나무 입목의 수분분포에 관하여. 한국임학회지 7:45-48

Beukema, S. J., Greenough, D. C., Robinson, C. E., Kurtz, W. A., Reinhardt, E. D., Crookston, N. L., Brown, J. K., Hardy, C. C. and Stage, A. R. 1997. An introduction to the fire and fuels extension to FVS. In: Teck, R., Mouer, M., Adams, J., eds. Proceedings of the Forest Vegetation Simulator conference. General Technique Repport INT-373. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 191-195.

Brown, H. P., Panshin, A. J. and Forsaith, C. C. 1949. Textbook of wood technology volume Ⅰ. Mcgraw-Hill Book Co., New York.

McMillen, J. M. 1950. Methods of determining the moisture content of wood, U. S. Forest Products Laboratory. Rpt. R 1140

Reinhardt, E. D., Scott, J. H., Gray, K. and Keane, R. E. 2006. Estimatig canopy fuel characteristics in five conifer stands in the western United States using tree and stand meansurements. Canadian Journal of Forest Reserch. 36:2803-2814

Sando, R .W. and Wick, C. H. 1972. A method of evaluating crown fuels in forest stands. Research paper NC-84. Department of Agriculture, Forest Service. pp. 10

Scott, J. H. and Reinhardt, E. D. 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. Research paper RMRS-RP-29. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. pp.59