

## 堆積木粉의 燃燒性 影響因子에 關한 研究

엄민선\*, 강민호\*, 정복삼\*\*

(\*충북대학교 대학원 안전공학과, \*\*충북대학교 안전공학과)

### I. 서론

훈소 또는 무염연소는 출화까지의 화재 초기의 성상을 특징지을 뿐만 아니라, 화재의 성장기에서도 일어난다. 이에 따라 다량의 연기와 함께 고체 가연물의 낮은 온도에서 표면반응이 계속되므로, 유기질 고분자 분체의 다량의 가연성분 및 유독성을 갖게 되어 인적·물질 피해를 초래하는 경우도 있다.

따라서, 본 연구에서는 훈소의 영향 mechanism을 설명하여 보기 위한 연구의 일환으로, 가연성의 퇴적 목분의 착화에 따른 일정 훈소층 형성 조건을 변화시켜, 이에 의한 반응대 전파에 따른 퇴적층 부위의 온도 변화를 측정하여 반응대 전파에 대한 영향인자를 규명하여 보고자 하였다.

### II. 실험 방법

#### II-1. 시료

본 실험에서 사용한 시료는 -20+60 [mesh : 0.84mm ~0.25mm]의 입도를 갖는 것으로서, 낙엽송(落葉松), 미송(美松)의 수종(樹種)을 선정하여 이를 -20+40 [mesh], -40+50 [mesh], -50+60 [mesh]의 입도 분포의 것으로 나누었으며, 시료 중의 수분의 양은 연소실험에 영향을 끼치므로, 건조로에서 120℃에서 2시간 이상 건조시켜 함수율이 6% 정도로 함량 유지시켜 실험에 사용하였다.

이와 같이 처리된 일정 입도의 목분을 원추상(D : H = 8.0 cm : 4.5 cm)의 성형체에 넣고 shaker에 의해 자연 퇴적된 원추상과 같이 되도록 일정 시간 shaker에 의해 성형시키고 이를 훈소 장치내 내연판 위에 정착시킨 것을 시료로 사용하였다. 이 경우, 수종별의 걸비중은 Table 1과 같은 바, 미송은 낙엽송에 비하여 보다 낮은 걸비중으로서 공격(空隙)이 큰 수종임을 알 수 있었다.

Table 1. Apparent Specific Gravity of Sawdusts

	Particle Size (Unit : mesh)	Weight	Apparent Specific Gravity
Larch	-20 + 40	27.532	0.2049
	-40 + 50	27.934	0.2078
	-50 + 60	28.472	0.2119
Oregon	-20 + 40	26.054	0.1938
	-40 + 50	26.591	0.1979
	-50 + 60	26.994	0.2009

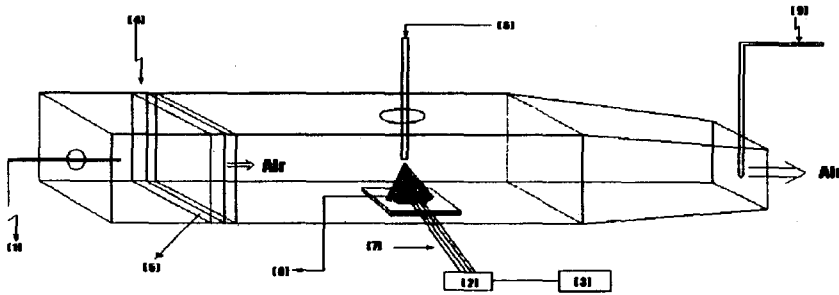
## II-2. 열안정성시험

본 실험에서 사용된 시료들에 대한 열안정성을 검토해 보기 위해 시료(낙엽송, 미송 각각 -40+50 nesh)의 발열성을 대기압에서 시차주사열량계(DSC)에 의해 측정하였다. 시료의 무게는 10[mg]이었으며, 시료의 온도를 일정속도(20[°C/min])로 600°C까지 상승시키면서 발열량을 측정한다.

## II-3. 온도변화시험

본 실험을 위하여 사용한 실험장치는 Fig. 1과 같다. 즉, 시료의 혼소를 위한 내부 공간은 W×H×L=18×18×60[cm]의 풍동으로 외부에서 착화 및 혼소 상황을 관찰할 수 있도록 아크릴수지로 제작하였다. 풍동 내 중앙에 정지한 원추상의 착화 시료의 혼소를 위해 일정한 유속의 공기는 송풍기에 의해 통풍시키고, 9.0×9.0[cm]의 개구부를 통하여 배출시켰다. 그리고 원추상의 퇴적 시료 하단부에 가스토키로 약 10[sec] 동안 가열하여 접화시킨다.

시료의 착화에 따른 혼소 진행 과정에서의 시료의 각 부위의 열전달에 따른 온도 변화를 측정하기 위한 열전대를 원추상 퇴적체 중심부 하단으로부터 각각 0.8[cm], 1.6[cm], 2.4[cm], 3.2[cm] 위치에 설치하여 30[sec] 간격으로 측정된 온도를 data화 하였다. 이 때, 풍동 내의 공기의 유속은 voltage regulator에 의해 회전수를 조절하는 축류형 송풍기에 의해 일정 속도를 유지시켜 공급하여 온도변화를 측정하였다.



- (1) Oxygen Indexer
- (2) Scanning Thermocouple Thermometer
- (3) Data Acquisition System
- (4) Blower
- (5) Transformer
- (6) Tri-Sense Tester
- (7) Thermocouple
- (8) Raw Material
- (9) IMR 3000P

Fig. 1 Experimental Device

## II-4. 연소가스의 유해성 측정 시험

시료의 각 조건별 혼소가 진행되고 있는 동안 발생하는 연기의 유해성을 검토하기 위해 시료의 착화, 혼소시 발생하는 CO의 농도를 3[min] 간격으로, 위치에 따른 CO의 농도를 측정, 비교 분석하였다.

## III. 실험결과

### III-1. 열안정성시험

본 실험에서 사용하는 목분 시료에 대한 열안정성을 검토하여 보기 위하여, 상압 시차주사열량계(DSC 210型)에 의한 발열성을 측정하여 보았다. 즉, -40+50 [mesh] 입도 목분의 수종에 대한 closed cell DSC curve를 Fig. 2에 나타내었으며, 발열 개시 온도를 비교하여 볼 때, 낙엽송 [320.5℃]이 미송[386.4℃]의 경우보다 상대적으로 낮은 온도값을 나타내고 있었다.

이와 같은 경향은 목분의 탈수반응을 위한 흡열 peak 온도가 향나무의 경우, 다른 수종보다 낮은 온도[122.3℃]에서 일어나고 있음이 이를 뒷받침하고 있다고 생각된다.

### III-2. 온도변화시험

낙엽송(larch tree), 미송(oregon tree)의 2가지 수종의 목분을 일정한 입도로 취하여, 이를 원추형 목분 시료의 하단 중심으로부터 1.8cm 상단점에서의 착화에 따른 혼소 과정에서의 시간 경과에 따른 온도 상승 변화를 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 이 때 풍동내로 유속을 0.15 - 0.20m/s로 유지시켜 공급하였다.

즉, Fig. 3은 시료 입도가 -40+50 mesh의 목분 수종에 대한 position 1에서의, 초기 시간 경과에 따른 온도 상승을 비교한 것으로, 미송이 낙엽송보다 조금 우세한 온도상승을 보이고 있다. 반면에, 낙엽송의 경우는 시료 입도가 굵어 질수록 미세한 시료입도에 비해 혼소시간과 온도상승이 잘 이루어지고 있었지만, 미송이 낙엽송 목분에 비해 착화가 용이하고 혼소가 잘 일어나는 경향을 나타내었다.

따라서, 이러한 경향에 대한 비교 고찰을 위하여 보기 위하여 시료의 온도 측정 부위를 가장 높은 위치인 position 4(시료 하단 중심으로부터 3.2cm 상단점)에서의 목분 수종별 온도변화를 측정하여 Fig. 4에 나타내었다.

그 결과, 수종별의 상대적인 온도의 변화는 position 1에서의 측정값과 비교하여 볼 때, 어느 일정시간 동안 완만한 온도 상승을 하는 거의 유사한 경향을 보여주고 있으나, 시간이 경과할수록 급격한 온도 분포를 나타내었다.

따라서, 미송에 비해 시료의 입도가 큰 경우 낙엽송의 목분은 시료의 입도가 작은 동 시료 보다 상대적으로 혼소 반응이 잘 일어나고 있는 반면에, 입도가 작아 질수록 미송의 경우가 가장 높은 온도 상승을 보이고 있었다.

### III - 3. CO 가스의 농도변화

목분 시료의 착화에 의한 혼소시 발생하는 CO 가스의 농도값을 측정부위의 위치(시료위, 개구부)에 변화를 주어 구분하여 분석하였다.

이에 Fig. 1의 실험장치에서 보는 바와 같이 시료위(A)에서와 개구부(B)에서의 산소지수값과 입도 크기의 변화에 따른 CO 가스 농도를 측정된 결과값을 Fig. 5에 도시하였다.

그 결과, Fig. 5에서 보여지듯이 산소지수가 24인 경우 시료위와 개구부에서의 CO 가스 농도값의 증가는 다만, 시간상의 차이만 있을뿐, 거의 유사한 증가율을 나타내고 있으며, 다른 3개의 그래프를 비교하였을 경우 산소지수값이 올라 갈수록 낮은 산소지수에 비하여 상대적으로 CO 가스의 농도값이 높음을 알 수 있다.

또한, 전반적으로 불 때 낙엽층에 비하여 미송의 경우가, 그리고 가스 측정 지점이 개구부인 경우 보다 시료위 지점에서의 단위 시간당 CO 가스의 농도값이 높게 나타났다.

이는, 풍동안으로 송풍기에 의해 공급되는 유속이 시료위 지점과 개구부 지점에서 차이가 발생한다는 사실과, 유입되는 공기와 배출되는 공기의 흐름에 의한 영향에 기인한다.

#### IV. 고찰 및 결론

- 1) 목분 시료의 열안정성 시험의 경우, 낙엽층의 발연 시작온도는 미송(약 386.4℃)에 비하여 보다 낮은 약 320.5[℃]에서 시작되고 있었다.
- 2) 목분의 수종에 있어, 시료 입도가 상대적으로 큰 경우 [-20+40 mesh]에는 낙엽층이 혼소반응이 보다 용이하여 다른 수종보다 높은 열전달 온도를 나타내고 있는 반면에, 시료 입도가 보다 작아지는 경우[-40+50 mesh 및 -50+60 mesh]에는 미송이 혼소반응이 용이하였다.
- 3) 목분의 입도에 있어서는, 수종에 상관없이 입도 크기가 커질수록 시료의 혼소 반응이 보다 잘 이루어지면서 높은 온도 분포를 나타내었다.
- 4) 원추형 목분 시료의 측정 부위별 온도 변화 영향에 있어서는, 온도 측정위치가 상단 부위일수록 열전달이 용이하여 보다 높은 온도를 나타내었으며, 온도 상승 경향은 70[℃] 이상이 되면 이전 보다 급격히 상승하는 현상을 나타내었다.
- 5) 시료의 혼소는 가스 측정 지점이 개구부인 경우 보다 시료위 지점에서의 단위 시간당 CO 가스의 농도값이 높게 나타났다.

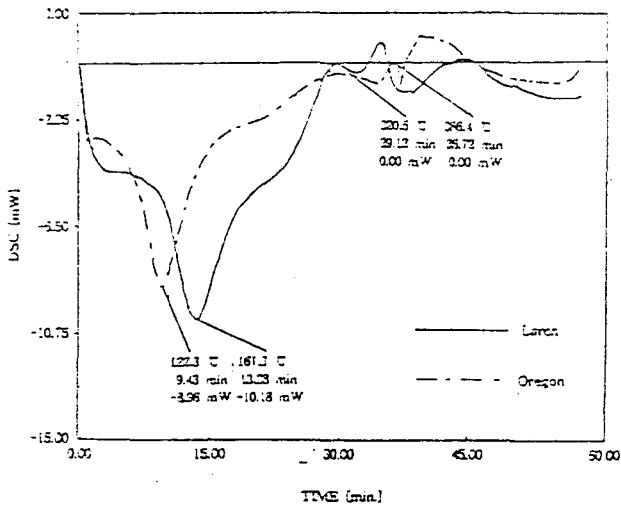


Fig 2. DSC Curve

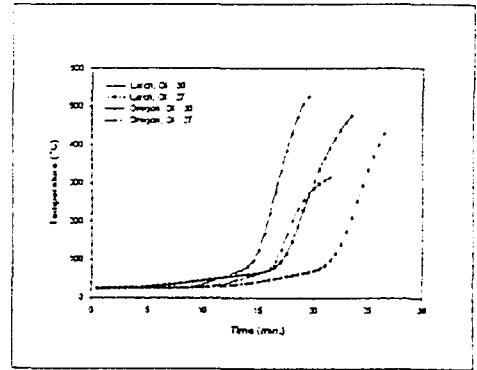


Fig. 4 Temperature changes under the smoldering at position 4 of the sawdusts (Particle size : -40+50 mesh)

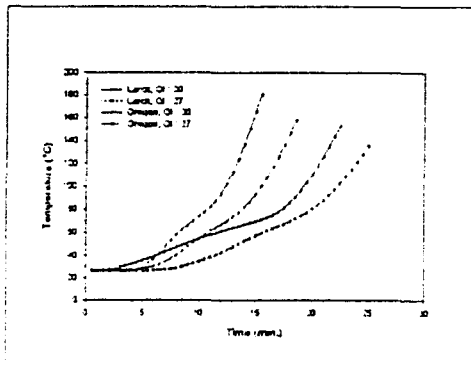


Fig. 3 Temperature changes under the smoldering at position 1 of the sawdusts (Particle size : -40+50 mesh)

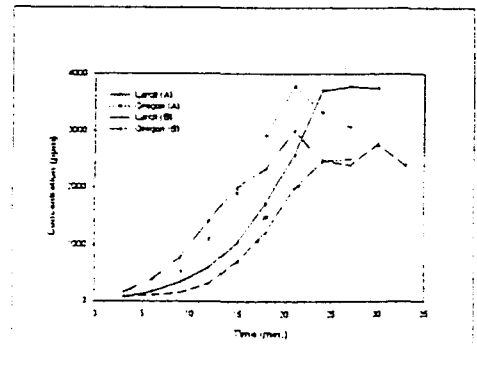


Fig 5. CO Concentration changes under the smoldering at the -50+60mesh (OI = 24, Velocity : 0.15 - 0.20m/s)

## 참 고 문 헌

- 1) Parmer, K.N., "Smoldering Combustion in Dusts and Fibrous Material", Combustion and Flame, pp.129~154, 1957
- 2) Ohlemiller, T.J., "Smoldering Combustion Propagation through a Permeable Horizontal Fuel Layer",  
Paper presentde at the Western State Section, Combustion Inst. 1983
- 3) Sato, K., Sega, S., "Smolder Spread in a Horizontal Layer of Cellulosic Powder", Fire and Safety Science, Proceedings of the 2nd International Symposium, pp.87~96, 1988
- 4) Leisch, S.O., Kauffman, C.W., and Sichel, M., "Smoldering Combustion in Horizontal Dust Layer", 20th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institut, Pittsburgh, pp.1601~1610, 1984
- 5) 金 弘, "可燃性 天然高分子 粉體의 燃燒에 關한 研究", 韓國産業安全學會誌, Vol.8, No.1, pp.7~17, 1990
- 6) 鄭國三, "酸化性物質의 化學的 危險性評價", 韓國産業安全學會誌, Vol.8, No.1, pp.35~46, 1993