

퇴적 목분의 훈소층 전파에 관한 연구

A Study on the Smoldering Zone Spread of the Heaped Saw-Dust

정 국 삼* · 강 민 호**

Kook-Sam Chung · Min-Ho Kang

(1997년 3월 14일 접수, 1997년 9월 20일 채택)

ABSTRACT

This paper was concerned with temperature aspect in the smoldering time of the accumulated each saw-dust sample of larch, oregon, aromatic trees which was formed with heaped cone-shape.

The smoldering time and temperature of each sample was measured under the wind velocity of 0.10~0.15m/s and circumstance relative humidity of 60%.

As a result, the very lowest heat beginning temperature was detected in aromatic. The effective smoldering phenomena in the sample were detected when the larch saw-dust of [-20+40mesh] and the aromatic saw-dust of [-40+50mesh, -50+60mesh].

Finally the larger a particle size of saw-dust was the better a smoldering time was short.

Also, it showed more increasing temperature above 70°C in the smoldering reaction.

1. 서 론

가연성의 분진이 퇴적상으로 축적되어 있는 경우, 주위의 고온 접촉이나 발화원에 의해 연소를 일으키게 되고 화재로 까지 발전되는 경우가 있다.

이 때, 반응대로 부터의 열에 의해 열분해하여 발생하는 가연성기체의 발생속도가 적고, 화염이 유지되지 않는 경우, 훈소(Smoldering)현상을 나

타내게 되는데, 가연성고체의 표면반응이 유지될 수 있을 때에 일어나고 있다.

이와 같이 훈소는 출화까지의 화재 초기의 성상을 특징지을 뿐만 아니라 화재의 성장기에서도 일어나는데, 이에 따라 다량의 연기와 함께 고체 가연물의 낮은 온도에서 표면반응이 계속되므로, 유기질 고분자 분체의 다량의 가연성분 및 유독성을 갖게 되어 인적·물적 피해를 초래하는 경우도 있다.

*충북대학교 안전공학과

**충북대학교 대학원 안전공학과

이러한 관점에서 이에 관한 많은 연구가 진행되어 왔는 바, Palmer¹⁾ 및 Kim⁷⁾ 등에 의한 분체의 훈소성을 비롯하여 Ohlemiller²⁾ 및 Sato³⁾ 등에 의한 수평층에서의 훈소확대 현상에 대한 고찰 등이 행하여 지면서 물질별의 훈소 영향에 대한 체계적인 규명을 진행하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 훈소의 영향 mechanism을 해명하여 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.

2. 실험

2.1 시 료

본 실험에서 사용한 시료는 -20+60mesh의 입도를 갖는 목분(木粉)으로서, 낙엽송(落葉松), 미송(美松), 향목(香木)의 수종(樹種)을 선정하여 이를 일정한 입도 범위의 것으로 각각 구분하여 사용하였다.

즉, 각 수종의 목분 시료는 -20+40mesh, -40+50mesh, -50+60mesh의 입도 분포의 것으로 나누었으며, 시료 중의 수분의 양은 연소실험에 영향을 끼치므로, 실험 직전까지 건조로(drying oven)에서 105℃에서 2시간 이상 건조시켜 함수율이 6% 정도로 함량 유지되는 것을 취하여 실험에 사용하였다.

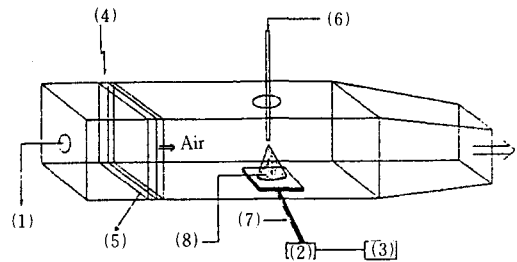
이와 같이 처리된 일정 입도의 목분을 원추상(D:H=8.0cm:4.5cm)의 성형체에 넣고 shaker에 의해 자연 퇴적된 원추상과 같이 되도록 일정 시간 shaker에 의해 성형시키고 이를 훈소 장치내 내열판 위에 설치시킨 것을 시료로 사용하였다. 이 경우, 수종별의 겉비중은 Table 1과 같은 바, 낙엽송과 향목은 거의 같은 값을 나타내었는데 비하여, 미송은 이들에 비하여 보다 낮은 겉비중으로서 공격(空隙)이 큰 수종임을 알 수 있었다.

2.2 실험장치 및 방법

본 실험을 위하여 사용한 실험장치는 Fig. 1과 같다. 즉, 시료의 훈소를 위한 내부 공간은 W×H×L=18×18×60cm의 풍동으로 외부에서 착화 및

Table 1 Apparent Specific Gravity of Sawdusts

	Particle Size (Unit : mesh)	Apparent Specific Gravity
Larch	-20+40	0.205
	-40+50	0.208
	-50+60	0.212
Oregon	-20+40	0.194
	-40+50	0.198
	-50+60	0.201
Aromatic	-20+40	0.207
	-40+50	0.209
	-50+60	0.214



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

Fig. 1 Experimental Device

훈소 상황을 관찰할 수 있도록 아크릴수지로 제작하였다. 풍동 내 중앙에 설치한 원추상의 착화시료의 훈소를 위해 일정 유속의 공기는 송풍기에 의해 통풍시키고 9.0×9.0cm의 개구부를 통하여 배출시켰다. 그리고 불연재로 내장된 바닥에 설치시킨 원추상의 퇴적 시료 하단부에 가스토치로 약 10sec 동안 가열하여 점화시킨다.

시료의 착화에 따른 훈소 진행 과정에서의 시료의 각 부위의 열전달에 따른 온도 변화를 측정하기 위한 열전대를 원추상 퇴적체 중심부 하단으로부터 각각 0.8cm, 1.6cm, 2.4cm, 3.2cm 높이 위치에 설치하여 30sec 간격으로 측정된 온도를 data acquisition system으로 기록되어진 것을 data화 하였다.

이 때, 풍동 내의 공기의 유속은 voltage regulator에 의해 회전수를 조절하는 축류형 송풍기에 의해 0.10~0.15m/s의 속도를 유지시켜 공급하였는 바, 이는 예비실험 결과, 동 풍동 장치 내에서의 훈소성이 가장 효율적인 것으로 사료되는 환기 및

수 $n=0.12\sim 0.8\text{sec}^{-1}$ 을 나타낼 수 있는 층류 유속 으로서 이는 大野⁶⁾의 연구 등에서도 제시되어진 값으로서, 이와 같은 조건하에서 측정된 각 시료 별 실험 온도값은 3회씩 측정 실시하여 이의 평균 값으로 취하였다.

3. 실험결과

3.1 열안정성시험

본 실험에서 사용하는 목분 시료에 대한 열안정 성을 검토하여 보기 위하여, 상압 시차주사열량계 (DSC 210型)에 의한 발열성을 측정하여 보았다. 즉, $-40+50\text{mesh}$ 입도 목분의 수종에 대한 closed cell DSC curve를 Fig. 2에 나타내었으며, 발열 개시 온도를 비교하여 볼 때, 낙엽송(281.4°C)이 향 목(294.7°C)이나 미송(303.1°C)의 경우보다 상대적으로 낮은 온도값을 나타내고 있었다. 참고로, 본 실험에 사용된 목분들의 발열개시온도는 Chung⁸⁾의 연구에 의해 측정된 나왕(373°C)이나 가문비(405°C) 및 단풍(416°C) 목분의 경우보다 상대적으로 낮은 온도값들을 나타내고 있는 수종들이었다.

이와 같은 경향은 목분의 탈수반응을 위한 흡열 peak 온도가 낙엽송의 경우, 다른 수종보다 낮은 온도(122.2°C)에서 일어나고 있음이 이를 뒷받침 하고 있다고 생각된다.

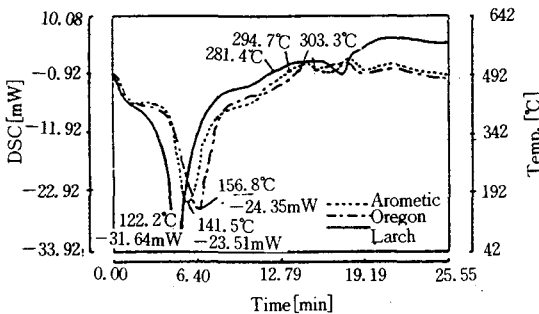


Fig. 2 DSC Curve of Sawdusts

3.2 온도변화시험

원추상으로 성형된 목분 시료의 착화에 의한 훈 소과정에서의 열전달에 따른 시료 부위별 온도 변화 영향을 목분의 수종, 입도 및 부위별로 구분·변

화시켜 조사하였다.

3.2.1 목분의 수종

목분 시료로서 국내에서 많이 사용되고 있는 낙엽송(larch tree), 미송(oregon tree) 및 향목 (aromatic tree)의 3가지 수종의 목분을 일정한 입도($-20+40\text{mesh}$, $-40+50\text{mesh}$, $-50+60\text{mesh}$)로 취하여, 이를 원추 시료의 하단 중심으로부터 1.8cm 상단점에서의 착화에 따른 훈소 과정에서의 시간 경과에 따른 온도 상승 변화를 측정하여 Fig. 3~Fig. 5에 나타내었다.

즉, Fig. 3은 시료 입도가 $-20+40\text{mesh}$ 의 목분 수종에 대한 초기 시간 경과에 따른 온도 상승을 비교한 것으로, 미송과 향목은 거의 유사한 온도 분포이기는 하지만, 100°C 이상에서는 미송이 약간 높은 온도를 나타내고 있었다.

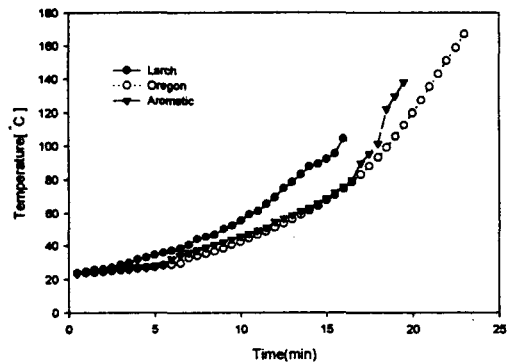


Fig. 3 Temperature changes under the smoldering at position 1 of the sawdusts (Particle size of sawdust : $-20+40\text{mesh}$)

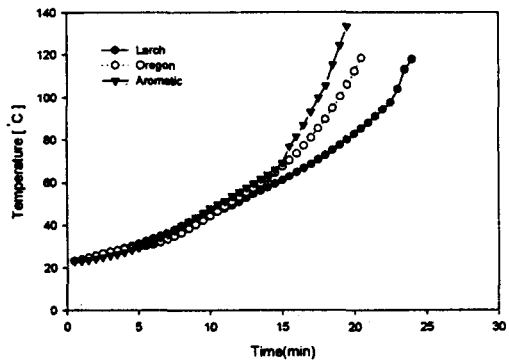


Fig. 4 Temperature changes under the smoldering at position 1 of the sawdusts (Particle size of sawdust : $-40+50\text{mesh}$)

반면에, 낙엽송은 이들 목분보다 전반적으로 보다 높은 온도를 보여주고 있었다. 향목은 다른 수종의 목분보다 착화가 용이하고 훈소가 잘 일어났으며, 이러한 경향은 Fig. 4의 -40+50mesh의 경우에서도 나타나고 있다. 또한 -50+60mesh의 Fig. 5에서는 시간 경과에 따라 다소의 변화는 있었지만, 향목과 더불어 미송 목분도 낙엽송 목분보다 훈소가 잘 이루어지는 변화 경향을 나타내었다.

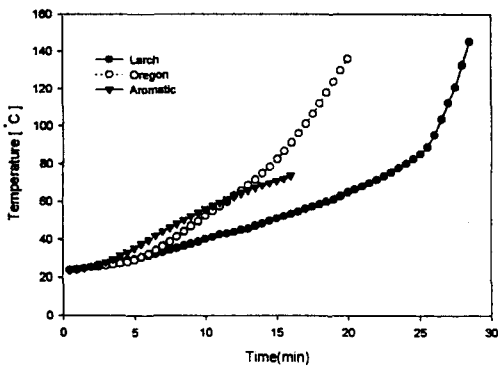


Fig. 5 Temperature changes under the smoldering at position 1 of the sawdusts (Particle size of sawdust : -50+60mesh)

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. 6~Fig. 8에 나타내었다.

그 결과, 수종별의 상대적인 온도의 변화는 앞의 Fig. 3~Fig. 5에 나타낸 position 1에서의 측정값과 비교하여 볼 때, 거의 같은 경향을 보여주고 있으나, 전반적으로 높은 온도 분포를 나타내었다. 특히 시료의 입도가 -20+40mesh인 Fig. 6의 경우, 낙엽송 시료는 훈소반응에 의한 열전달이 잘 이루어져서 다른 수종에 비하여 보다 높은 온도 상승값을 나타내고 있었다. Fig. 7의 -40+50mesh 및 Fig. 8의 -50+60mesh의 경우에는, 온도 측정값 70~80°C의 비교적 낮은 온도까지는 완만한 상승을 보이던 경향이 그 이상의 온도에 이르면 급격한 온도상승을 향목>미송>낙엽송의 순을 나타내었으며, 그 정도의 차이는 보다 입도가 작은 -50+60mesh의 경우가 보다 컸다.

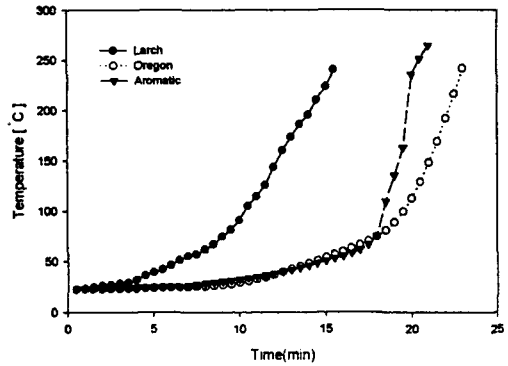


Fig. 6 Temperature changes under the smoldering at position 4 of the sawdusts (Particle size of sawdust : -20+40mesh)

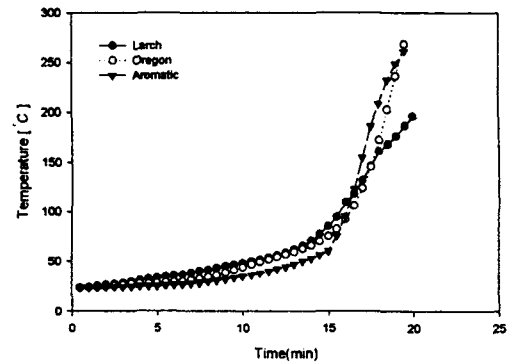


Fig. 7 Temperature changes under the smoldering at position 4 of the sawdusts (Particle size of sawdust : -40+50mesh)

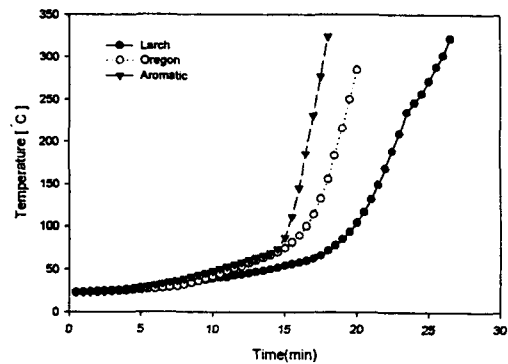


Fig. 8 Temperature changes under the smoldering at position 4 of the sawdusts (Particle size of sawdust : -50+60mesh)

이러한 관점에서 볼 때, 시료의 입도가 큰 경우에는 낙엽송의 목본이 상대적으로 훈소 반응이 잘 일어나고 있는 반면에, 입도가 작아질 수록 향목의 경우가 가장 높은 온도 상승을 보이고, 그 다음으로 미송, 낙엽송의 순서로서 목본의 입도, 크기 변화에 따라 수종별 훈소성의 경향이 바뀌고 있는 바, 이러한 현상에 대한 규명은 수종별 수분 함량과 연소에 따른 발생 유기성분들의 차이 등을 입도형상 및 시료 성형상의 공격(空隔) 등과 함께 변수로 고려하여 종합적인 고찰이 행하여져야 하는 것으로, 이는 후속 연구로서 현재 진행되고 있어 차후 언급하고자 한다.

3.2.2 시료의 입도

입도 크기에 따른 변화 경향을 알아보기 위하여 낙엽송 목본 시료의 입도별 훈소 경과시간에 따른 온도 변화를 Fig. 9~Fig. 12에 나타내었다. 시료

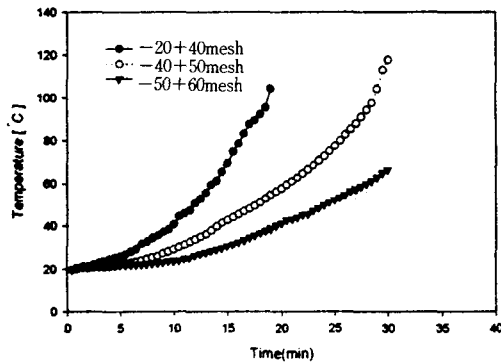


Fig. 9 Temperature changes under the smoldering at position 1 of the sawdusts (larch)

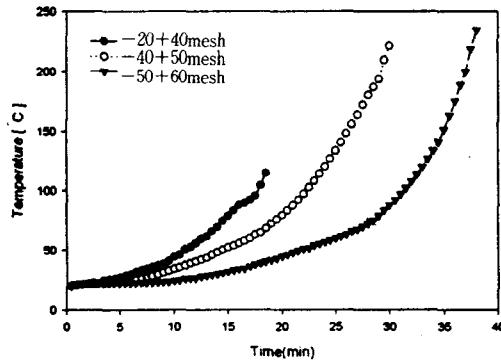


Fig. 10 Temperature changes under the smoldering at position 2 of the sawdusts (larch)

의 온도 측정 위치에 상관없이 전반적으로 입도가 상대적으로 커질 수록 보다 높은 온도 분포를 나타내고 있었는데, 이는 입도가 큰 시료일수록, 공간 부피비가 커져 공기의 공급이 보다 원활하게 되어 훈소가 용이하게 되기 때문이다.

또한, 시료의 입도가 상대적으로 작은 -50+60mesh의 경우와 같이 훈소시간의 경과에도 온도가 완만한 상승 경향을 보이던 것이 30분 정도 경과한 70°C 부근의 온도에 이르게 되면, 보다 급격한 온도 상승 곡선을 보여주는 특이한 경향을 나타내고 있는데, 이는 시료의 공기접촉 공간과 연소 반응에 따른 열축적에 기인하는 것으로 사료된다.

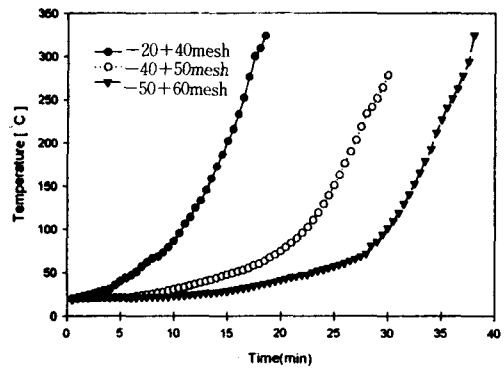


Fig. 11 Temperature changes under the smoldering at position 3 of the sawdusts (larch)

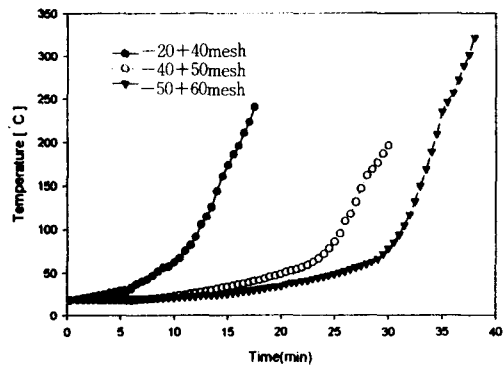


Fig. 12 Temperature changes under the smoldering at position 4 of the sawdusts (larch)

3.2.3 시료 측정 부위

예비실험 결과, 착화성이 가장 좋은 향목 시료의 부위별의 온도 측정값을 시료 입도 크기별로 구

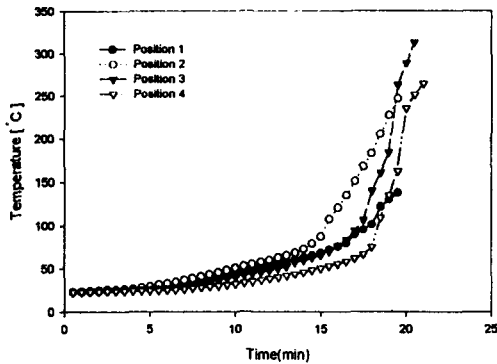


Fig. 13 Temperature changes under the smoldering at the sawdust(aromatic) of $-20+40$ mesh

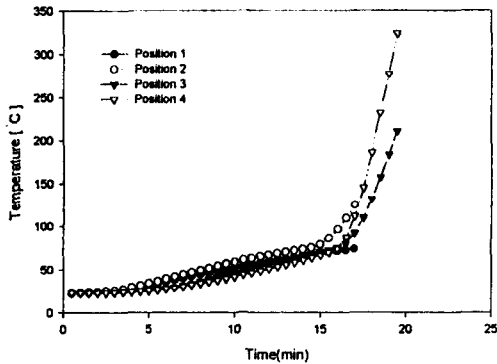


Fig. 14 Temperature changes under the smoldering at the sawdust(aromatic) of $-40+50$ mesh

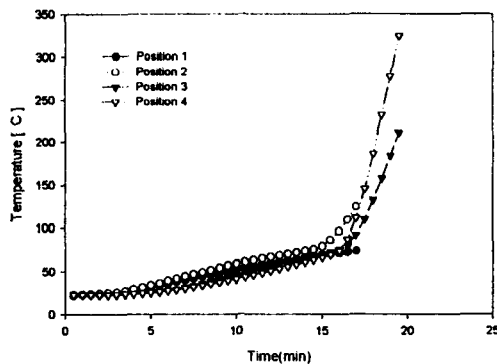


Fig. 15 Temperature changes under the smoldering at the sawdust(aromatic) of $-50+60$ mesh

분하여 Fig. 13~Fig. 15에 나타내었다. 혼소 반응 시간이 15분 정도 경과하여 70°C에 이르면서 부터 온도 상승 경향이 보다 커지는 현상을 나타내고 있

었으며, 또한 전반적으로, 동 원추형 시료의 하단 보다는 상단의 부위일수록 보다 높은 온도값을 보이는 하였으나, 이는 착화 부위로 부터의 열전달 경로의 용이성에 기인한다고 사료된다.

4. 고찰 및 결론

원추형 퇴적체 목분 시료의 일정한 시험 조건하에서의 열안정성 및 착화에 의한 혼소 반응 시간 경과에 따른 온도 변화를 측정·고찰하였을 때 본 실험의 범위내에서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 목분 시료의 열안정성 시험의 경우, 낙엽송의 발열 시작온도는 향목(약 295°C)이나 미송(약 303°C)에 비하여 보다 낮은 약 281°C에서 시작되고 있었다.
- 2) 목분의 수중에 있어, 시료 입도가 상대적으로 큰 경우($-20+40$ mesh)에는 낙엽송이 혼소반응이 보다 용이하여 다른 수중보다 높은 열전달 온도를 나타내고 있는 반면에, 시료 입도가 보다 작아지는 경우($-40+50$ mesh 및 $-50+60$ mesh)에는 향목이 보다 혼소가 잘 이루어지고 미송이 그 다음을 나타내었다.
- 3) 목분의 입도에 있어서는, 수중에 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°C 이상이 되면 보다 커지는 현상을 나타내었다.

본 연구는 1995년 충북대학교 학술연구재단연구비에 의하여 연구되었음.

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) Hirano, T., Sato, K., "Prediction of Metal Fire Spread in High Pressure Oxygen", Combustion Science and Technology, pp. 139~159, 1983.
 - 5) 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.
 - 6) 大野知英, "スモルタリングにおける反応帯傳播に関する研究", '90年卒業研究発表會豫稿集, 横浜國立大學工學部, 18, 1991.
 - 7) 金 弘, "可燃性 天然高分子 粉體의 燻燒에 關한 研究", 韓國産業安全學會誌, Vol. 8, No. 1, pp. 7~17, 1990.
 - 8) 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.