

유지류의 침윤량과 공기주입에 따른 면화류의 발화거동에 관한 연구 A Study on the Ignition Behaviors of Textiles according to Permeation Amount of Oils and Aeration

오치훈 · 이창우 · 김정환 · 현성호†

Chi-Hoon Oh · Chang-Woo Lee · Jung-Hwan Kim · Seong-Ho Hyun

경민대학 소방안전관리과

요 약

면화류의 열적특성을 조사하기 위하여 시차주사열량계(DSC, Differential Scanning Calorimeter) 및 열중량 분석기(TGA, Thermogravimetric Analysis)를 이용하여 온도에 따른 발열개시온도, 무게감량 등을 조사하였으며, 발화온도 측정방법 중 정온법을 이용하여 요오드가가 각기 다른 유지류에 침윤된 면화류의 발화거동을 조사하였다. 이때 발화온도 측정장치의 반응용기 내부로의 공기 기류의 존재 여부에 따른 발화거동을 함께 조사하였다. 연구결과 합성섬유의 분해온도 폭이 순면인 천연섬유에 비하여 다소 넓은 것을 알 수 있었다. 한편 발화개시온도의 경우 공기를 주입하지 않는 경우에는 유지의 침윤량 증가에 따라 두 시료 모두 상승하였으나, 공기를 주입하는 경우에는 유지의 침윤량 증가에 따라 상당히 낮아지고 있으며, 특히 건성유를 침윤시킨 경우에는 급속히 감소하고 있음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

We had investigated thermal and ignition behaviors of textiles. Decomposition of textiles with temperature was investigated using a DSC and the weight loss according to temperature using a TGA in order to find the thermal hazard of textiles, and the ignition behaviors of textiles according to species and permeation amount of oil. In addition, ignition behaviors of those permeated into oils indicating different iodine value and of those with and without air in reaction vessel of measuring equipment were studied with constant temperature method among ignition temperature measuring methods. As results, the range of decomposition temperature of synthetic fiber was slightly broad compared with that of natural fiber, pure cotton. Besides, the initiation temperature of heat generation of both samples rised in the case of no air injection in the reaction vessel. On the other hand, in the case of air injection that was lowered according to the increase in permeative amount of oils and fats and decreased quickly as sample was permeated into drying oil.

Keyword : textiles, thermal hazard, ignition temperature, permeation, drying oil

1. 서 론

최근 수년간 섬유공장에서는 다수의 인명피해와 수 억원에서 수백억원의 재산피해를 입는 대형화재가 빈번하게 발생하고 있다.¹⁾ 특히 섬유공업의 기본적인 화재위험은 섬유 자체가 화재를 일으키는 발화물질은 아니지만 섬유의 착화용이성, 원료의 밀집도, 연속공정으로 발화순간 전공정으로 연소확대의 위험이 높으며 있다. 또한 연소가 쉽고 착화되면 대량의 연기, 특히 유

독가스 발생이 용이하며, 대형화재로 전개되는 위험도가 매우 높다.^{2,3)} 더구나 직물제조업에서 가장 발생하기 쉬운 화재는 창고에서 발생하는 경우와 제조공정에서 발화물로 인해 발생하는 경우로 나뉘어지는데 화재를 일으키는 원인은 전기 기기의 결함, 제품창고의 이물질에서 발생하는 스파크, 마찰로 인한 열등을 들 수 있다.⁴⁾

면화류의 연소특성은 주성분이 셀룰로오스로 구성된 식물성인 면·황마·대마 등 천연섬유(착화점 400°C)의 경우로 가연성 물질로서 마찰열이나 스파크에 의해 쉽게 발화·연소되고, 면이 소진될 때까지 표면하에서의 훈소 화재 후에 표면화재로 발전한다. 동물성 섬유

† E-mail:shhyun@kyungmin-c.ac.kr

인 양모 등은 식물성 섬유와 달리 복합 단백질의 고분자로 구성되며, 의류나 실내 장식용으로 많이 사용되는 합성섬유는 합성 고분자로 구성되어 있는데 천연섬유에 비해 착화가 어려울 뿐만 아니라(착화점 600°C), 연소의 형태도 발화원의 열에 의해 용융 착화하는 성질이 있으며, 발화원이 제거되면 곧 소화된다. 이들 면화류의 연소생성물로 열과 연기 외에 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 및 시안화수소(HCN)가 발생하며,⁵⁾ 특히 화재로 인해 생기는 연기 안에 발견되는 분해생성물은 약 200여 종류의 여러 복합화합물로 구성되어 있으며, 2차 열분해시 각종 인화성 물질을 만들기도 한다.⁶⁾

한편, 소방법상 특수가연물로 분류되는 면화류에 유지류가 침윤된 경우 연소위험성은 더욱 커지며, 기름 걸레나 기름 찌꺼기 등이 자연발화하는 것은 잘 알려진 사실이다.⁷⁾ 자연발화의 대상이 되는 기름은 제4류 위험물에 해당하는 동식물 유지 및 그 제품으로 유지의 불포화성이 발화의 주원인이 된다. 유지가 실제로 자연발화하기 위해서는 섬유상 물질, 다공성 물질 또는 그외 미세한 물질에 침투·부착되거나 하여 공기와의 접촉면적을 증대하여 산화발열속도를 증대시키는 동시에 산화 발생열의 축적이 이루어져야 한다. 유지는 일반적으로 불포화지방산기의 불포화도에 따라 산화속도나 산화열의 발생이 변화하며, 이러한 불포화도의 정도에 따라 자연발화의 위험성이 증대한다.

이와 같은 유지류의 자연발화 위험성은 요오드가에 의해 규정지어지고 있으며, 요오드가에 따라 유지류는 건성유, 반건성유, 불건성유로 분류된다. 건성유나 반건성유의 경우에는 요오드가가 크며, 자연발화의 위험성이 큰 유지이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 측면에서 면화류의 발화거동을 조사하고자 하였다. 먼저 천연섬유인 순면과 면과 폴리에스테르가 1:1로 직조된 합성섬유를 시차주사열량계(DSC) 및 열중량분석기(TGA)를 이용하여 온도에 따른 발열개시온도, 무게감량 등을 조사하였으며, 발화온도 측정방법 중 정온법을 이용하여 요오드가가 각기 다른 유지류에 침윤된 면화류의 발화거동을 조사하였다. 이때 발화온도 측정장치의 반응용기 내부로의 공기 기류의 존재 여부에 따른 발화거동을 함께 조사하였다. 이를 방적공장에서 발생할 수 있는 재해를 예방하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 준비

본 실험에서 시료로 사용한 면화류는 국내 ○○방적

에서 생산되는 천연섬유(natural textile)인 순면과 면과 폴리에스테르가 1:1로 직조된 합성섬유(synthetic textile)를 사용하였으며, 이들을 침윤시키기 위한 유지류는 건성유인 들기름, 반건성유인 콩기름 및 불건성유인 올리브유를 사용하였으며 일반적인 성상을 Table 1에 나타내었다. 먼저 시료인 천연섬유와 합성섬유를 4.0×4.0 cm의 크기로 절단하여 각각의 유지로 0.3~1.2 ml로 침윤시킨 후 데시케이터에서 48시간 방냉하여 실험에 사용하였다.

2.2 특성평가

2.2.1 열적 위험성 평가

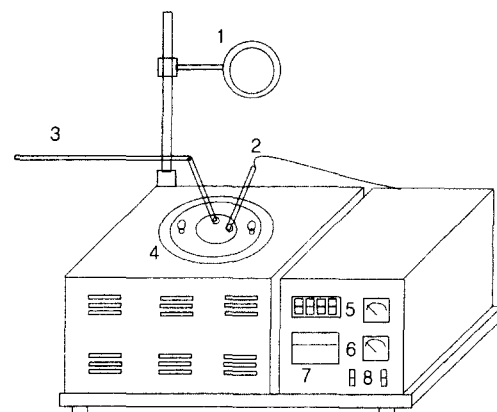
본 실험에 사용한 면화류의 열적 위험성을 평가하기 위해 시차주사 열량계(Model : DSC 2910, TA Instruments, U.S.A.) 및 열중량분석기(Model : STD 2960, TA Instruments, U.S.A.)를 이용하여 발열개시온도, 분해개시온도 및 무게감량 등을 측정하였다.

2.2.2 발화거동 평가

본 연구에서 시료로 사용한 면화류의 발화거동을 조사하기 위하여 천연섬유와 합성섬유를 각각 4.0×4.0 cm

Table 1. Properties of oils⁸⁾

유지류	요오드값	인화점	비고
들기름	192~208	272°C	건성유
콩기름	114~138	282°C	반건성유
올리브유	75~90	225°C	불건성유



- 1. Mirror
- 2. Thermocouple
- 3. Air line
- 4. Reactor
- 5. Volt Meter
- 6. Ampere Meter
- 7. Indicator
- 8. Power

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

의 크기로 절단한 후 유지를 침윤시키지 않은 면화류와 각 유지량을 0.3 ml에서 1.2 ml까지 달리하여 면화류에 침윤시킨 후 발화온도 측정장치[Model: PIT-031, Phillip trading Co. Ltd.]를 이용하여 정온법으로 유지류의 침윤량에 따른 면화류의 발화온도를 조사하였으며, 실험에 사용한 장치도를 Fig. 1에 나타내었다. 먼저 반응기를 일정한 온도로 유지시킨 후 4.0×4.0 cm 크기의 시료를 집게를 이용하여 반응기에 투입하였다. 이때 발화시간은 10초를 기준으로 하였으며, 10초 동안에 발화가 이루어지지 않는 경우에는 반응기의 온도를 조금씩 상승시켜 실험을 반복 수행하여 발화온도를 측정하였다. 한편, 반응기에 한번 주입된 시료는 일부의 분해가 이미 이루어져 발화거동에 영향을 미칠 것으로 사료되어 매번 새로운 시료를 사용하여 발화거동을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열시차 분석기(DSC)에 의한 특성 평가

본 연구에서 시료로 사용한 천연섬유인 순면과 면과 폴리에스테르가 1:1로 섞인 합성섬유의 열적 안정성을 조사하기 위하여 분위기 가스인 Ar을 60 ml/min의 속도로 주입하면서 승온속도를 5°C/min로 하여 각각 DSC 분석을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 천연섬유나 합성섬유 모두 100°C 부근에서는 시료 내의 수분이 증발에 따른 흡열 peak를 볼 수 있으며, 합성섬유의 경우 250°C 부근에서 흡열 peak가 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

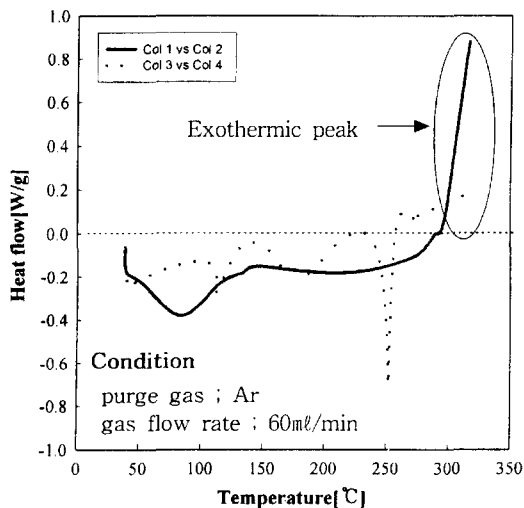


Fig. 2. DSC curves of natural and synthetic textile.

이는 합성섬유의 구성 성분인 폴리에스테르가 용융되면서 발생한 것으로 사료된다. 또한 두 시료 모두 300°C 부근에서 발열 peak가 발생하는 것을 확인하였다. 이는 시료가 열분해되기 시작하면서 발생하는 것으로 이로부터 천연섬유와 합성섬유의 열적 위험성을 간접적으로 확인할 수 있다. 한편, DSC 분석결과로 나타나는 발열 peak의 면적으로 분석시 발열량을 알 수 있으나, 300°C까지의 분석결과 발열 peak가 완전한 모양을 갖추지 못한 관계로 분석시 발열량은 계산할 수 없었으나, 본 연구에서 시료로 사용한 면화류의 발열 peak는 기존에 본 연구실에서 실험한 곡물류분진,⁹⁾ 천연섬유분진,⁴⁾ 카본블랙¹⁰⁾ 및 활성탄 분진¹¹⁾에 비해 큰 열량을 나타내고 있는 것으로 보아 열적 위험성이 클 것으로 사료된다.

3.2 열중량 분석기(TGA)에 의한 특성 평가

Fig. 3은 천연섬유와 합성섬유의 열분해 특성을 조사하기 위하여 승온속도를 5°C/min로 하고 분위기 기체를 Ar으로 60 ml/min의 속도로 흘려보내면서 분해에 따른 무게감량을 측정함으로써 분해개시온도나 분해특성에 미치는 영향을 TGA 분석한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 천연섬유인 순면의 경우 분해개시온도는 약 310°C로 나타났으며, 분해종료온도는 약 430°C 부근으로 나타났다. 한편, 면과 폴리에스테르가 1:1로 직조된 합성섬유의 경우는 분해개시온도는 천연섬유인 순면의 경우와 비슷하나 분해종료온도가 약 520°C로 분해온도의 폭이 순면인 경우에 비하여 다소 넓음을 알 수 있다. 이는 합성섬유의 경우 폴리에스테르가 열

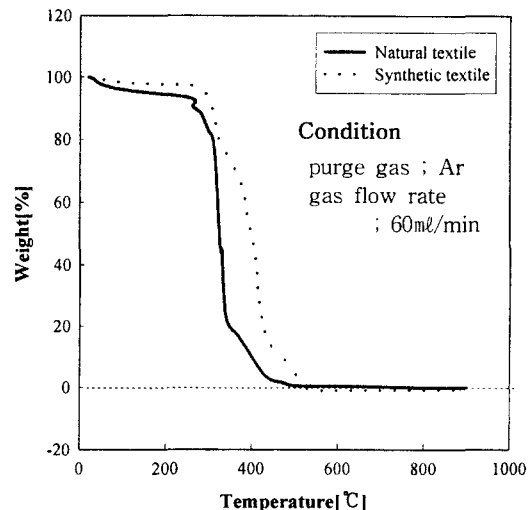


Fig. 3. TGA curves of natural and synthetic textile.

분해시 섬유가 1차적으로 용융한 후 분해가 발생하기 때문이다. 또한 시료로 사용한 면화류는 약 500°C 이상에서 열분해에 따른 100% 무게감량을 나타내고 있다.

3.3 발화거동 평가

면화류의 발화거동을 평가하기 위해 천연섬유인 순면과 면과 폴리에스테르가 1:1로 직조된 합성섬유를 각각 4.0×4.0 cm의 크기로 절단한 후 유지를 침윤시키지 않은 면화류와 각각의 시료에 유지류를 0.3 ml에서

1.2 ml까지 변화시키며 침윤시킨 후 유지류의 침윤량에 따른 면화류의 발화온도를 조사하였다. 또한, 발화점 측정장치의 반응용기 내에 공기를 주입에 따른 발화온도의 변화를 알아보기 위하여 반응기 내에 공기를 일정한 속도로 주입하면서 발화온도의 변화를 동일한 조건에서 조사하였다.

Fig. 4와 Fig. 5는 천연섬유인 순면의 경우 공기를 주입하지 않은 경우와 공기를 일정한 속도로 주입한 경우의 발화온도를 나타낸 것이다. 먼저 Fig. 4에 나타난 바와 같이 건성유를 0.3 ml 침윤시킨 경우를 제외하곤 전체적으로 유지의 침윤량이 증가할수록 발화개시온도는 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 유지의 침윤량이 증가할수록 유지의 기화나 분해를 위해 열에너지가 흡수되고, 또한 면화류가 단독으로 존재하는 경우보다 연소에 필요한 공기의 양이 부족하기 때문에 발생하는 현상으로 생각된다. 그러나 다른 유지류와 달리 건성유의 경우 유지를 0.3 ml 침윤시킨 경우 침윤시키지 않는 경우보다 발화온도가 더 낮아지는 것은 건성유의 경우 요오드가가 크기 때문에 산화속도가 매우 빨라 발생하는 산화열의 축적이 더 용이해지기 때문에 발화개시온도를 감소시키는 것으로 사료된다. 한편, Fig. 5는 공기를 주입하면서 유지로 침윤된 면화류의 발화온도를 조사한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 유지의 침윤량이 증가할수록 발화온도는 낮아지고 있음을 알 수 있으며, 건성유인 들기름으로 침윤시킨 경우의 발화온도가 가장 낮게 나타나고 있다. 이는 공기의 주입으로 인해 산화발열속도를 증대시키는 동시에 발생하는 산화열의 축적이 용이해져 발화온도가 낮아지는 것으로 사료된다. 특히 건성유인 들기름으로 침윤시킨 천연섬유의 경우 발화온도가 가장 낮은 것은 앞서 언급한 바와 같이 다른 유지에 비해 불포화도가 매우 큰 건성유이므로 산화되기 쉽고 산화열의 축적이 대단히 크기 때문에 발생하는 현상으로 사료된다. 따라서 일반적으로 알려진 바와 같이 섬유의 취급 장소가 주로 대기중에서 이루어지며 작업장 내부에 노출된 기름으로 인해 섬유가 침윤되는 경우 발화온도의 감소로 인해 자연발화의 위험이 있으며 특히 건성유에 침윤되는 경우 위험성은 훨씬 증대될 수 있으므로 상당한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 6과 7은 면과 폴리에스테르가 1:1로 직조된 합성섬유에 유지류의 침윤량에 따른 발화온도를 상기와 동일한 조건에서 실험하여 얻어진 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 공기를 주입하지 않은 경우에는 앞서 천연섬유의 경우와 마찬가지로 유지의 침윤량이 증가할수록 발화온도는 증가하고 있으며, 공기를 주입하는

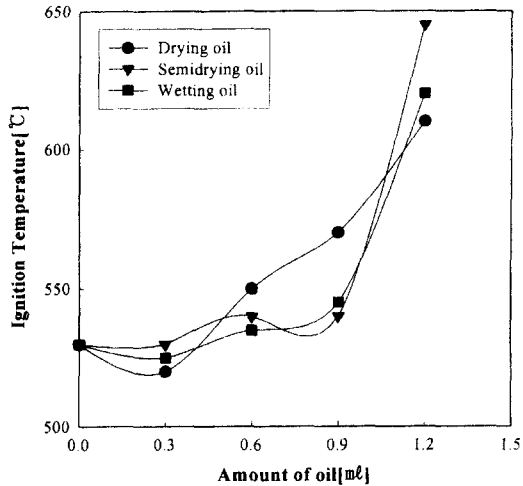


Fig. 4. Variation of ignition temperature of natural textile according to amount of oil.

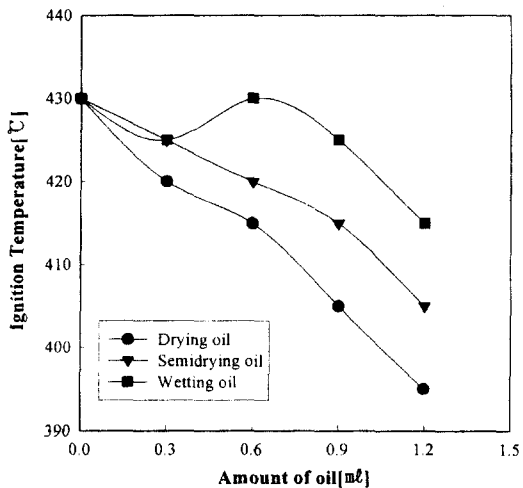


Fig. 5. Variation of ignition temperature of natural textile according to amount of oil at aeration.

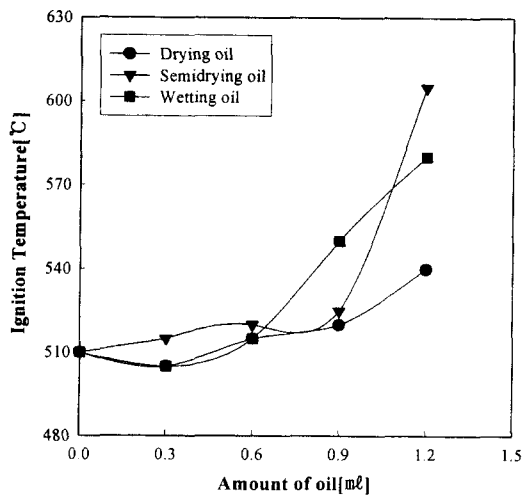


Fig. 6. Variations of ignition temperature of synthetic textile according to amount of oil.

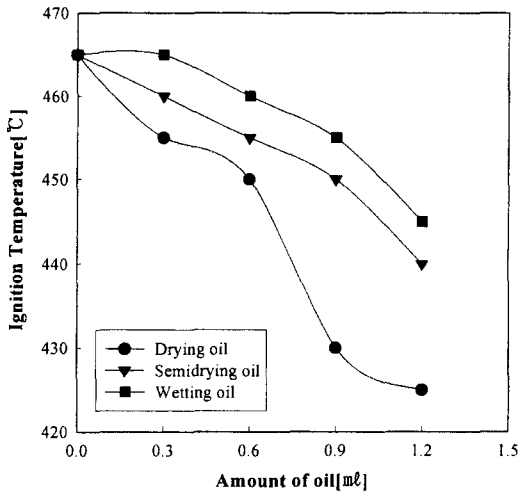


Fig. 7. Variations of ignition temperature of synthetic textile according to amount of oil at aeration.

경우도 침윤량이 증가할수록 발화온도는 낮아지고 있음을 알 수 있으나 천연섬유의 경우 공기를 주입하는 경우와 주입하지 않는 경우보다 약 100°C정도 발화온도가 낮아지고 있으나 합성섬유의 경우에는 약간의 발화온도 감소는 있으나 큰 차이는 보이지 않고 있다. 이는 천연섬유의 경우 면의 용융이 발생하지 않기 때문

에 공기와와의 접촉면적이 상당히 높은 반면 합성섬유의 경우 연소되기 전에 섬유의 1차 용융으로 인해 표면적이 감소하기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

이상의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 시료로 사용한 천연섬유와 합성섬유의 분해개시온도는 약 300°C로 비슷하였으나 분해종료온도는 천연섬유의 경우 약 430°C, 합성섬유의 경우 약 520°C로 합성섬유의 분해온도 폭이 순면인 경우에 비하여 다소 넓음을 알 수 있었다. 한편 발화개시온도의 경우 공기를 주입하지 않는 경우에는 유지의 침윤량 증가에 따라 두 시료 모두 상승하였으나, 공기를 주입하는 경우에는 유지의 침윤량 증가에 따라 상당히 낮아지고 있으며, 특히 건성유를 침윤시킨 경우에는 급속히 감소하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 섬유를 취급하는 작업장에서는 재해예방에 각별한 주의가 필요로 한다.

참고문헌

1. 위험관리정보센터, 화재사례, Vol. 8, 한국화재보험협회 (1996)
2. 이재양, "섬유공장의 화재위험과 대책", 방재와 보험, Vol. 57, 한국화재보험협회 (1993)
3. 고려합섬(주), "소방안전연구조사보고서", 한국소방안전협회 (1993)
4. 이창우, 김정환, 현성호, "천연섬유분진의 연소특성에 관한 연구", 화재·소방, Vol. 13, No. 1, p3 (1999)
5. 위험관리정보센터, 위험관리핸드북, p309-332, 한국화재보험협회 (1994)
6. 현성호 외4인, "위험물 화학", p321-328, 동화기술 (1999)
7. 平野敏右, "燃焼學", p93-97, 海文堂, 日本 (1986)
8. 오백균, "위험물질론", p694-695, 동화기술 (1999)
9. 이창우, 김정환, 현성호, "알겨분진의 혼소위험성에 관한 연구", 화재·소방, Vol. 13, No. 2, p12 (1999)
10. 이창우, 김정환, 현성호, "Hartman식 장치에 의한 carbon black 분진의 부유중 폭발위험성 평가", 화재·소방, Vol. 12, No. 4, p13 (1998)
11. 이창우, 김정환, 함영민, 현성호, "활성탄의 부유중 폭발 위험성에 관한 연구", 화재·소방, Vol. 12, No. 3, p3 (1998)