



활성탄의 자연발화에 있어서 발화유도시간과 온도분포에 관한 연구

A Study on the Ignition Induction Time and Temperature Distribution at Spontaneous Ignition of Activated Carbon

최재욱* · 김상렬** · 이상록*** · 최광재***

Jae-Wook Choi · Sang-Yeul Kim · Sang-Rok Lee · Kang-Jae Choi

ABSTRACT

The spontaneous ignition induction time and temperature distribution were observed by performing experiments for granulated activated carbon.

As the results of the experiments at the same amplitude, the critical spontaneous ignition temperature was decreased with increase of the time period, while, the ignition induction time was increased with the increase of the time period. The critical spontaneous ignition temperature was decreased with the increase of the amplitude for the shorter period. The temperature distribution of the sample showed the highest around ignition-point at center of the vessel and after ignition the highest temperature was moved toward surface of the vessel.

1. 서 론

현대 산업사회의 모든 분야에서는 화재의 직접 원인이 되는 가연성 물질을 대량으로 수송, 저장하는 기회가 많아지게 되므로서 위험성을 항상 내포하고 있는 실정이다.

일반적으로 자연발화는 외부에서 아무런 착화원이 없는 상태에서 공기중의 상온에서 자연적으로

발열하거나, 가연성기체 또는 공기를 포함하는 고체, 분체등을 외부에서 가열하게 되면 혼합계내의 산화, 분해등의 화학반응에 의해서 발생하는 열이 내부에 축적하게 되고 반응의 가속을 가져와 내부 온도를 상승시키게 되므로서 발화점에 도달하게 되어 화재·폭발을 일으키는 현상이다.¹⁾ 그러므로 자연발화의 특징은 열의 축적 과정에 있기 때문에 내부에서의 방열과 발열 속도의 균형 문제가 된다. 즉, 방열되기 쉬운 상태에 있으면 열의 발생량이

* 부산공업대학교 산업안전공학과

** 동아대학교 화학공학과

*** 신광화학공업(주)

많아도 열이 축적되기 어렵기 때문에 가열온도가 높지 않으면 안되고, 반면에 방열되기 어려운 상태에 있으면 발열량이 적어도 낮은 온도에서도 발화가 일어난다.²⁻⁴⁾

활성탄은 다공성이 풍부하고 비표면적이 크므로 식품의 정제, 의약품 및 방독마스크 등의 용도로 다양하게 사용되고 있으며, 오늘날의 유기용제를 많이 사용하는 산업 현장에서는 작업장의 쾌적한 환경과 화재·폭발의 예방을 위해서 발산되는 유기용제 증기를 제거하기 위하여 입상활성탄을 사용한 흡착탑이 많이 설치되고 있는 실정이다.

따라서 활성탄은 흡착탑내에서 주위의 기체를 흡착하여 발열함과 동시에 산화 발열이 가해져서 발화하는 경우가 있다.

자연발화에 관한 연구는 Takeda와 Akita⁵⁾가 분말활성탄의 자연발화시 산소확산의 영향에 관한 연구를 행하였으며, Adler등^{6,7)}은 주기적인 온도변화가 발화한계온도를 저하시키는 것을 이론적으로 도입하였고, Groothuizen등⁸⁾은 창고에 놓아둔 유기과산화물이 들어있는 용기의 중심온도에 대한 변화과정을 시뮬레이션 했다. 또한 Sagaguchi와 Uehara⁹⁾는 주위온도 변화에 따른 분말활성탄의 자연발화에 대하여 고찰 하였으며, Mok등³⁾은 입상활성탄의 자연발화에 관한 연구를 행하였으나 실제적인 실험의 결과는 그렇게 많지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 입상활성탄을 시료로 항온조내의 주위온도를 정현곡선상으로 변화 시켰을 때의 발화한계온도와 발화유도시간을 구하고, 주위온도를 일정하게 유지 했을때의 용기내의 온도분포를 측정하여 자연발화 현상에 미치는 발화특성을 파악함으로써 화재·폭발 예방의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치는 사진 1과 같으며, 항온조, 냉접점, 온도제어장치, 기록계로 구성되어 있다. 실험에 사용된 항온조는 90L의 열풍순환식 항온조를 사용하였으며, 시료용기는 형상을 입방체로하여 300mesh의 stainless제 금망으로 제작하고, 일차원 방향 이외의 면은 약 1cm의 석면판으로 단열시켜 무한평판에 접근하도록 하였다.

온도제어장치(Konics제 EC-5600)는 프로그램의 설정에 의해 주위온도를 제어하는 방식으로 냉접점을 거친 보정된 온도를 제어할 수 있도록 하여 설정온도와 비교하고, 그 차이에 의해 2개의 1000W Heater의 전류치를 제어하여 릴레이 스위치로서 상부팬의 작동을 on-off로 제어 하였다.

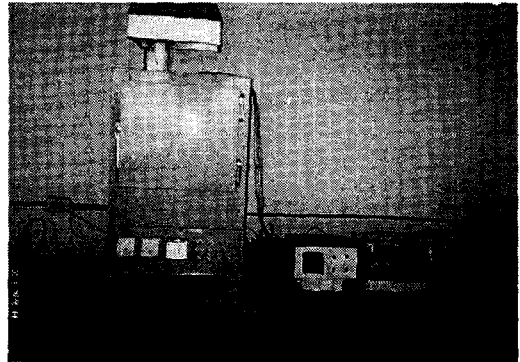


Photo. 1 View of experimental apparatus

2.2 실험방법

실험에 사용한 입상활성탄은 전보¹⁰⁾와 동일한 원료를 사용하였다. 실험은 온도제어 장치에 의해서 진폭을 5℃, 10℃, 15℃로 항온조내의 온도를 변화시키고 주기를 0.5시간, 1.5시간, 2.5시간으로 변화시켜 소정의 온도로 행한 다음 항온조내의 중심에 시험하고자하는 시료용기(20cm x 20cm x 5cm)에 활성탄을 충전시켜 실험장치내에 걸고, 실험을 행하여 시료의 중심온도가 200℃ 이상으로 되었을 때를 발화로 판정하고, 200℃를 넘지 않으면 비발화로 판정 하였다. 동일한 조건으로 발화로 판단된 경우에는 주위온도를 낮추어 실험을 행하고, 비발화의 경우에는 주위온도를 올려 실험을 반복하여 시료가 발화한 최저온도와 발화하지 않았던 최고온도와의 차이가 1℃로 되었을때 실험을 종료하고 양자의 평균온도를 발화한계온도로 하였다. 시료용기내의 온도분포 측정은 일정한 온도하에서 대용기(20cmx20cmx7cm)를 사용한 실험에서 구한 발화로 판단된 최저온도에서 행하였으며, 충전된 활성탄의 중심과 중심으로부터 1차원 방향으로 1.0cm, 2.0cm 및 3.0cm의 위치에 각각의 열전대를 장치하여 시료용기내의 온도 분포를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 발화한계온도와 발화유도시간

실험에 사용한 용기의 크기가 20cmx20cmx5cm 인 경우에 있어서 진폭을 5°C, 10°C, 15°C로 했을

때의 발화한계온도와 발화유도시간을 구하였다. 진폭을 5°C로 하고 주기를 0.5시간, 1.5시간, 2.5시간으로 변화 시켰을 때의 실험결과를 Table 1에 나타내었으며, 진폭을 10°C로 했을 경우의 실험 결과를 Table 2에, 진폭 15°C로 했을 때의 실험결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 1 Experimental results at amplitude 5°C

| Exp. No. | Period (hr) | Period average temp. | Ignition distinction | Sample center temp.(°C) | Maximum temp. recording time(min) | Ignition induction time(min) | CSIT(°C) |
|----------|-------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------|
| 1 | 0.5 | 160 | * | 171 | 473 | — | 162.5 |
| 2 | | 162 | * | 184 | 462 | — | |
| 3 | | 163 | 0 | 483 | 545 | 398 | |
| 4 | | 164 | 0 | 468 | 521 | 362 | |
| 5 | | 166 | 0 | 478 | 581 | 421 | |
| 6 | 1.5 | 160 | * | 188 | 428 | — | 160.5 |
| 7 | | 161 | 0 | 476 | 564 | 425 | |
| 8 | | 162 | 0 | 479 | 590 | 412 | |
| 9 | | 164 | 0 | 482 | 562 | 402 | |
| 10 | 2.5 | 158 | * | 187 | 452 | — | 158.5 |
| 11 | | 159 | 0 | 475 | 654 | 482 | |
| 12 | | 160 | 0 | 477 | 628 | 446 | |
| 13 | | 162 | 0 | 478 | 623 | 435 | |

where * : non-ignition
 0 : ignition
 CSIT : critical spontaneous ignition temperature

Table 2 Experimental results at amplitude 10°C

| Exp. No. | Period (hr) | Period average temp. | Ignition distinction | Sample center temp.(°C) | Maximum temp. recording time(min) | Ignition induction time(min) | CSIT(°C) |
|----------|-------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------|
| 1 | 0.5 | 158 | * | 173 | 449 | — | 161.5 |
| 2 | | 160 | * | 183 | 501 | — | |
| 3 | | 161 | * | 196 | 616 | — | |
| 4 | | 162 | 0 | 478 | 583 | 419 | |
| 5 | 1.5 | 160 | * | 179 | 416 | — | 160.5 |
| 6 | | 161 | 0 | 477 | 607 | 429 | |
| 7 | | 162 | 0 | 488 | 601 | 416 | |
| 8 | 2.5 | 158 | * | 181 | 466 | — | 158.5 |
| 9 | | 159 | 0 | 473 | 727 | 530 | |
| 10 | | 160 | 0 | 474 | 631 | 462 | |

where * : non-ignition
 0 : ignition
 CSIT : critical spontaneous ignition temperature

Table 3 Experimental results at amplitude 15°C

| Exp. No. | Period (hr) | Period average temp. | Ignition distinction | Sample center temp. (°C) | Maximum temp. recording time(min) | Ignition induction time(min) | CSIT(°C) |
|----------|-------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------|
| 1 | 0.5 | 158 | * | 174 | 479 | — | 160.5 |
| 2 | | 160 | * | 188 | 446 | — | |
| 3 | | 161 | 0 | 482 | 586 | 418 | |
| 4 | | 162 | 0 | 478 | 631 | 462 | |
| 5 | 1.5 | 156 | * | 178 | 439 | — | 158.5 |
| 6 | | 158 | * | 191 | 447 | — | |
| 7 | | 159 | 0 | 474 | 601 | 443 | |
| 8 | | 160 | 0 | 476 | 547 | 390 | |
| 9 | 2.5 | 158 | * | 193 | 494 | — | 158.5 |
| 10 | | 159 | 0 | 485 | 703 | 508 | |
| 11 | | 160 | 0 | 484 | 668 | 466 | |

where * : non-ignition
 0 : ignition
 CSIT : critical spontaneous ignition temperature

3.1.1 진폭 5°C일 경우

Table 1과 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 진폭 5°C에서 주기 변화를 0.5시간, 1.5시간, 2.5시간으로 했을 때의 발화한계온도는 주기가 길수록 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 이것은 주기가 길수록 1주기내의 최고 온도에서 주위온도 변화에 대한 열이 완전히 방산되지 못하고 열의 축적이 보다 용이하게 되기 때문인 것으로 생각된다. 또한 주기가 길수록 발화유도시간이 길어지고 있는데, 이는

진폭 변화에 대한 최고치의 영향 때문인 것으로 생각된다. 즉, 주기가 0.5시간일 경우에 있어서는 6시간 30분, 주기가 1.5시간일 경우에는 7시간, 2.5시간의 주기 변화에 있어서는 8시간에서 발화가 일어날 수 있는 최고치의 영향을 받는것으로 생각된다.

3.1.2 진폭 10°C일 경우

진폭을 10°C로 하고 주기를 0.5시간, 1.5시간,

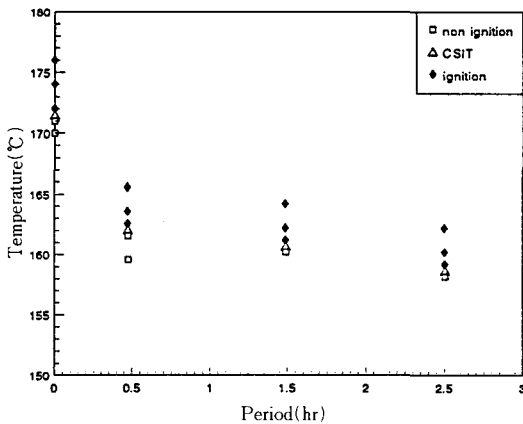


Fig. 1 Relation between period and CSIT at amplitude 5°C

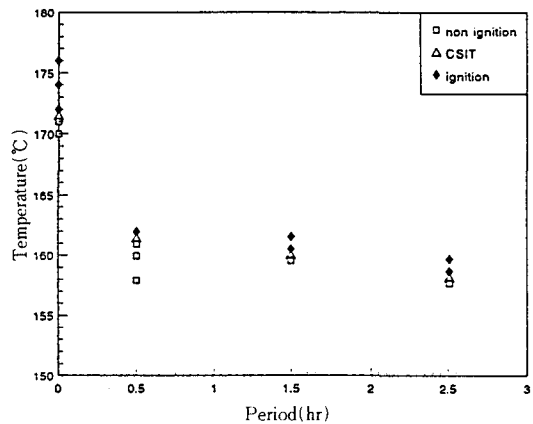


Fig. 2 Relation between period and CSIT at amplitude 10°C

2.5시간으로 했을 때의 주기 변화에 따른 발화, 비발화 및 발화한계온도를 Fig. 2에 나타내었다. Table 2와 Fig. 2에서 진폭 10°C의 경우에 있어서도 진폭 5°C의 경우와 동일하게 주기가 길수록 발화한계온도가 낮아지고 있으며, 발화유도시간도 길어지는 경향을 나타내고 있다. 주기가 0.5시간과 1.5시간에서는 거의 동일한 7시간에서 발화가 일어나고 있으며, 2.5시간에서는 8시간 50분 정도에서 발화가 일어날 수 있는 최고치의 영향을 받고 있다.

3.1.3 진폭 15°C일 경우

Fig. 3에는 주기 변화에 따른 발화, 비발화 및 발화한계온도를 나타내었으며, Table 3과 Fig. 3에서 주기가 길수록 발화한계온도가 낮아지고 있으며, 발화유도시간도 길어지고 있다. 주기가 0.5시간일 경우에 있어서는 7시간, 주기가 1.5시간일 때는 7시간 30분, 2.5시간의 주기에 있어서는 8시간 30분 정도에서 최고치의 영향을 받고 있다. 또한 Table 1, 2, 3에서 주기 0.5시간, 1.5시간에서는 진폭이 증가 할 수록 발화한계온도는 낮아지는 경향을 나타내고 있으나, 주기가 2.5시간에서의 발화한계온도는 동일하게 158.5°C를 나타내고 있다. 이것은 주기가 0.5시간, 1.5시간의 경우에 있어서는 진폭이 증가 할수록 주위온도 변화에 대한 최고치의 영향을 받고 있으나, 주기가 2.5시간에서는 진폭 5°C, 10°C에서도 주기가 길기 때문에 용기내의 열의 축적이 용이하여 최저발화한계온도를 나타내

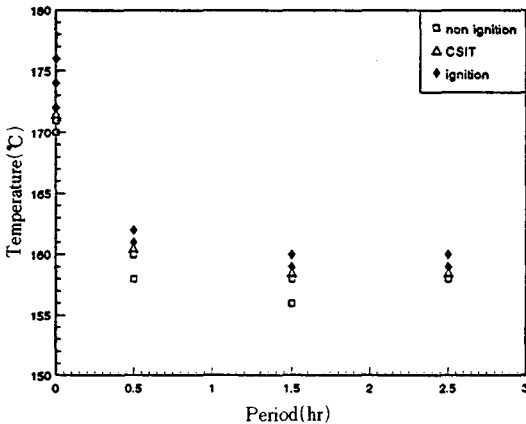


Fig. 3 Relation between period and CSIT at amplitude 15°C

고 있는 것으로 생각된다.

3.2 일정한 온도하에서 용기내의 온도분포 측정

자연발화 현상을 정확하게 판단하기 위해서는 발화의 중심이 어디에 있는가를 알 필요가 있으며, 이를 위해 시료의 온도분포를 측정하였다. 시료내의 온도분포 측정은 발화한계온도 부근인 「발화」로 판단되는 최저온도 166°C에서 항온조내의 온도를 일정하게 유지하여 행하였다. Fig. 4에는 경과 시간에 대한 시료용기내의 위치에 따른 온도 분포를 나타냈다. 실험 개시 후의 온도분포는 시료의 중심에서 가장 낮고 표면쪽이 높게 나타났으나, 300분이 경과 했을때 시료의 중심온도가 172°C에 이르게 되고 시료의 내부에서 열이 축적되어 온도가 급상승 하여 시료의 중심에서의 온도가 가장 높게 나타났으며 표면쪽으로 갈수록 낮은 온도분포를 나타내었다. 이는 자연발화 지점이 시료의 중심에 있음을 나타내고 전형적인 저온축화 현상임을 증명하고 있다. 또한 370분이 경과됨에 따라서 발열의 중심이 시료의 중심으로부터 3.0cm 거리의 위치로 이동된 온도분포를 나타내고 있다.

이것은 시료 중심에서의 자연발화로 연소에 필요한 산소가 부족함으로서, 산소가 풍부한 시료의 표면쪽으로 발열의 중심이 이동된다고 생각된다.

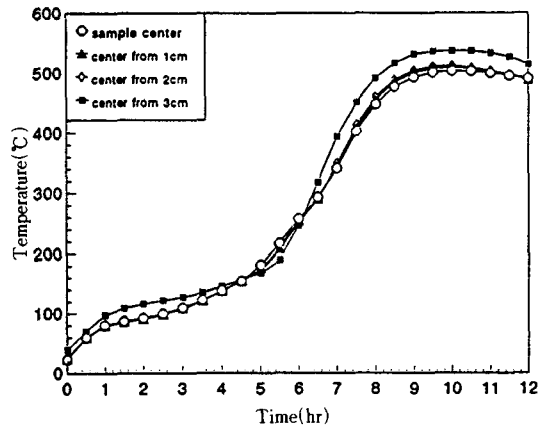


Fig. 4 Relation between time and temperature distribution

4. 결 론

입상활성탄을 시료로 발화유도시간과 온도분포

에 관한 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 진폭이 동일할 경우 주기가 길수록 발화한계온도는 낮아지는 경향을 나타냈다.
- ② 진폭이 동일할 경우 주기가 길수록 발화유도시간이 길어졌다.
- ③ 진폭이 증가 할수록 발화한계온도는 낮아지는 경향을 나타냈다.
- ④ 시료용기내의 온도분포는 발화부근에서는 시료의 중심에서 가장 높게 나타났으며, 발화 후 시간이 경과할수록 발열의 중심이 시료의 표면쪽으로 이동했다.

참 고 문 헌

- 1) 北川徹三 : 化學安全工學, 日刊工業新聞社 1971.
- 2) 金 鴻, 陸演洙, 李謹悟, 鄭國三 : 防火工學, 東和技術, p. 38 1991.
- 3) 목연수, 최재욱, 김상렬, 최광재 : 한국산업안전학회지, 6, 4, 66 1991.
- 4) 목연수, 최재욱 : 한국산업안전학회지, 7, 1, 47 1992.
- 5) 武田久弘, 秋田一雄 : 安全工學, 14, 3, 131 1975.
- 6) J. Adler, P. A. Barry and M. J. M. Bernal : Proc. Roy. Soc., A370, 73 1980.
- 7) J. Adler and D. M. Herbert : Ibid., A384, 455 1982.
- 8) Th. M. Groothuizen, J. W. Hartgerink and H. J. Pasman : Proceeding of First International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion, The Hague/Delft. The Netherlands, pp. 239, Elsevier 1974.
- 9) 坂口義孝, 上原陽一 : 安全工學, 27, 2, 70 1988.
- 10) 목연수, 최재욱 : 한국산업안전학회지, 7, 4, 45 1992.