

모래에 沈漬시킨 방향족 유기용제의 연소특성

우인성[†] · 황명환 · 정덕채^{*}

인천대학교 안전공학과 · ^{*}인천대학교 화학과
(2000. 4. 28. 접수 / 2000. 8. 8. 채택)

Combustion Characteristics of Immobilized Aromatic Organic Solvent in Sands

In-Sung Woo[†] · Myung-Whan Hwang · Duck-Chae Jung^{*}

Department of Safety Engineering, Inchon University · ^{*}Department of Chemistry Inchon University
(Received April 28, 2000 / Accepted August 8, 2000)

Abstract : Combustion characteristics of immobilized benzene and toluene in sands were studied. Experiments were performed by burning benzene and toluene immobilized on sands (particle size 0.1~0.5mm) to measure combustion rate and combustion temperature. The longer time from ignition to extinguishment was resulted from the larger particle size exhibited the higher mass burning rate. Of aromatic compounds tested the relative magnitude of facilitation of combustion was benzene and toluene. Combustion temperature of benzene and toluene without regard to the types of benzene and toluene was not increased with smaller sand. However, with larger sands, combustion temperature of benzene and toluene were increased by 50~100°C and the highest combustion temperature was obtained with larger sands.

Key Words : combustion characteristics, combustion temperature, combustion rate

1. 서 론

석유화학 계통의 유기용제는 페인트 공업, 의약품공업 등 여러 화학공업의 유기용제로 사용되고 있으며, 석유화학물질의 특성상 액체상태이므로 인화점, 발화점 및 증기압이 낮기 때문에 화재폭발의 위험성이 잠재되어 있다^{1~4)}.

화재를 크게 분류하면 도시화재와 석유화학공업 화재 등으로 나눌 수 있고 화재의 주체는 연소반응으로 성상에 따라 액체연료, 기체연료, 고체연료의 연소로 나눌 수 있으며 석유화학물질의 연소는 대부분 액체연료 연소와 기체연료 연소로 나눌 수 있고 액체연료 연소는 액면연소, 액적연소, 증발연소 및 분무연소 등이 있다^{5,6)}.

액면연소(pool burning)는 액면상에서 그 증기가 공기와 혼합하여 연소하는 불 균일계 확산연

소의 일종으로 이에 관한 연구는 주로 연소를 계속하기 위한 필수조건인 화염으로부터 액면으로의 열 전달과 화재확대의 원인인 열 방사에 관하여 湯本太郎⁷⁾이 연구하였고, Blinov와 Khundyakov⁸⁾는 연소용기의 직경과 연소속도에 관한 연구에서 용기의 직경이 10cm 까지는 연소속도가 감소하며 직경의 증가와 더불어 증가한다는 결과를 보고하였고, Bullen⁹⁾과 Akita¹⁰⁾는 연소속도와 환기 지배계수의 관계를 연구하였고 武田^{11,12)}와 김¹³⁾은 환기지배의 연소에 있어서 나타나는 진동연소과정의 거동을 연구 보고하였으며 이러한 액면연소형태의 화재는 석유탱크 저장조의 화재, 해저 유전에서 분출되는 해상화재 등이 있다.

한편 석유화학 공장에서의 화재는 다공성 고분자 물질 등과의 복합화재의 형태로 석유화학물질 단독의 화재보다 피해의 규모는 훨씬 크게 나타난다³⁾. 또한 석유화학 물질이 지표로 유출되는 경우도 그와 같은 규모의 화재가 일어 날

[†]To whom correspondence should be addressed.
insung@lion.inchon.ac.kr

것으로 예측되나 지금까지의 화재에 있어서 연소특성 및 유해가스 독성평가에 관한 연구는 석유화학물질, 즉 유기용제, 고분자물질 단독적으로 존재 할 때만의 연구가 대부분이다. 본 연구와 같이 다공성물질에 유기용제가 함침되어서 일어나는, 즉 복합적인 화재시의 연소특성에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 또한 유출된 석유화학물질, 즉 유기용제의 양과 침지되어지는 재질에 따라 연소의 지속시간과 연소량, 연소생성유해가스 종류 및 양을 예측할 수 있다면 화재의 피해를 최소화 할 수 있으므로 그러한 화재에 대한 방호자료가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 대표적인 방향족 유기용제인 벤젠, 톨루엔 등이 다공성물질에 유출되어 화재가 발생했을 때 재해예측에 필요한 기초자료를 얻기 위해 연소모양, 연소속도 및 다공질층의 온도 등을 각각 단독의 유기용제의 물성치와 비교하여 유기용제를 다량 사용하는 석유화학공장의 화재폭발위험성 평가 및 방호대책 자료를 얻는데 목적이 있다.

2. 실험방법

2.1. 실험장치

본 실험에서 사용한 장치는 장치의 내경이 연소속도에 영향을 미치지 않게 하기 위하여 Blinov와 Khudyakov⁸⁾의 연구결과를 참고하여 그림 1과 같이 직경 100mm 높이 150mm의 원통형

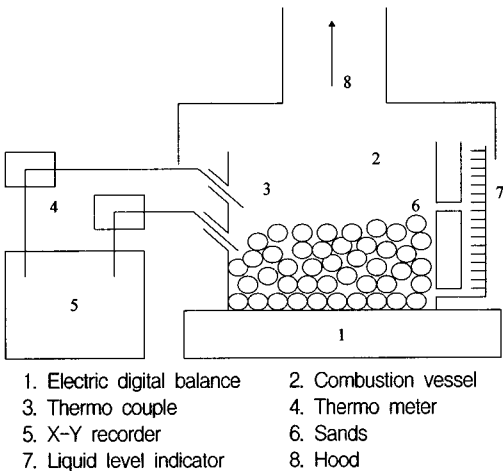


Fig. 1. Schematic diagram of combustion characteristics measuring apparatus

Stainless 제품으로 하였고 벤젠, 톨루엔이 연소할 때 연소속도를 측정하기 위하여 측면에 유리 액위계를 부착하여 연소시 액위의 변화를 알 수 있게 하였다. 또한 연소시 벤젠, 톨루엔의 증량변화와 온도변화를 측정하기 위하여 전자저울에 연소장치를 올려놓고 증량변화를 측정하였으며, 연소장치의 모래 표면과 중심부에 K-type 열전대를 설치하여 기록계에 연결시켜서 연소온도변화를 측정하였다.

2.2. 실험방법

모래에 함침시킨 벤젠, 톨루엔의 연소특성 실험은 그림 1의 연소 용기에 직경 0.1~0.5mm의 모래를 50mm 깊이로 채우고 증량을 측정한 후 유기용제인 벤젠, 톨루엔을 모래표면까지 함침시킨 후 증량을 측정하고 액위계의 눈금을 기록하였다. 그리고 연소온도 변화를 측정하기 위하여 모래 표면과 바닥에서부터 100mm의 중심에 K-type 열전대를 설치하여 X-Y기록계를 통하여 온도를 측정하였다. 연소특성 실험은 위의 방법으로 모래의 입경변화, 유기용제의 종류에 대하여 각각 연소를 시킨 후 시간의 변화에 따른 액위계의 눈금변화를 읽었으며, 증량감소의 변화 및 온도변화를 측정하였다. 또한 모래를 채우지 않은 벤젠, 톨루엔에 대한 연소특성도 측정하여 비교 검토하였다.

연소특성실험은 모래를 체를 통하여 0.1~0.5mm로 걸러 분리하여 사용하고 유기용제는 대표적인 방향족 유기용제인 벤젠, 톨루엔을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 벤젠, 톨루엔의 연소속도(질량)

모래에 벤젠, 톨루엔을 침지 시켰을 때 연소특성을 알아보기 위해 연소시간에 따른 질량감소속도를 그림 2~4에 나타내었다. 그림 2와 3은 연소용기에 벤젠, 톨루엔 만 연소시켰을 때의 연소속도와 0.1~0.5mm의 모래를 입경 별로 채운 후 용제를 모래의 표면까지 침지시켰을 때의 질량감소속도를 나타낸 것이다. 여기서 연소속도는 모래의 입경이 작아 질수록 커지는 경향을 나타내었다. 이것은 glassbead(유리구슬)에 메틸알콜을 함침하여 연구한 平野敏右¹⁴⁾ 등의 연구

와 일치하였고 본 연구자¹⁵⁾가 모래에 메틸알콜 등의 알콜류를 또한 모래에 침지시킨 경우가 벤젠, 톨루엔 만 연소시켰을 때보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 이것은 모래 표면에서 기화량이 많아 지므로 연소속도를 크게 한 것으로 사료된다.

그림 4는 벤젠과 톨루엔의 연소속도를 비교하기 위하여 나타낸 것으로 실험방법은 그림 2와 같은 방법으로 하였고, 단지 모래의 입경을 0.1mm로 고정하여 시료를 침지시켰다. 여기서 2분 후의 연소속도는 벤젠이 6g/min이고 톨루엔은 5.5g/min으로 벤젠이 톨루엔보다 컸으며 시간이 흐름에 따라 급속히 감소하였다. 이것은 벤젠과 톨루엔의 발화점¹⁶⁾은 560°C, 480°C로 연소속도는 발화점에 깊은 관계가 있을 것으로 사료된다.

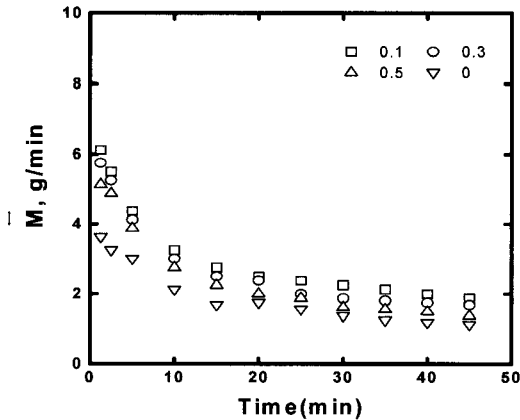


Fig. 2. Effect of sand mean diameter on mass flammable rate for benzene

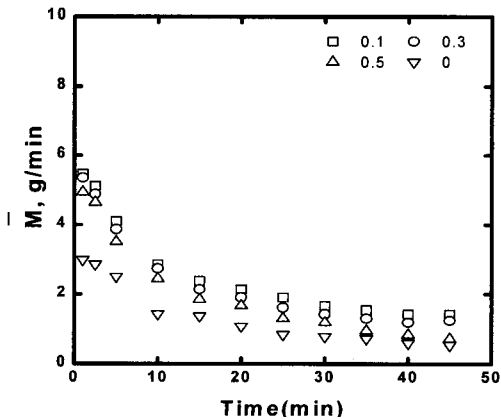


Fig. 3. Effect of sand mean diameter on mass flammable rate for toluene

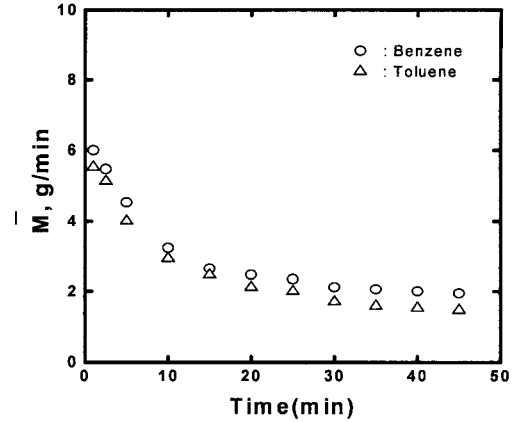


Fig. 4. Comparison of mass burning rate with benzene and toluene

3.2. 벤젠, 톨루엔의 연소속도(수위)

그림 5는 0.1mm의 모래에 벤젠과 톨루엔을 침지시켜 연소시킬 때의 시간에 따른 수위 감소 변화를 나타낸 것이다. 연소에서 소화까지는 45분 정도 소요되었으며 수위 12mm까지 연소가 계속되었으며 잔류시료가 남아 있으나 소화되었다. 이것은 앞 절에서 언급한 발화점에 관계가 있는 것으로 사료된다. 그림 6과 7은 모래의 입경에 따른 침지된 벤젠과 톨루엔의 연소속도를 나타낸 것이다. 여기서 벤젠과 톨루엔의 연소속도는 처음 점화후 3분에서 모래 입경이 0.1mm일 때 2mm/min, 1.8mm/min 이나 10분 후 7mm/min, 6mm/min로 최고 속도를 나타낸 후에 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 발화초기에

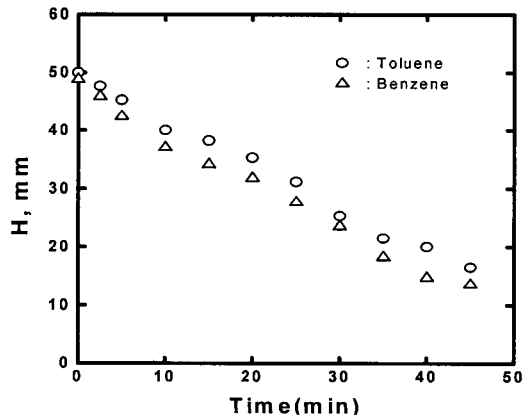


Fig. 5. Height burning rate of benzene and toluene in 0.1mm sand

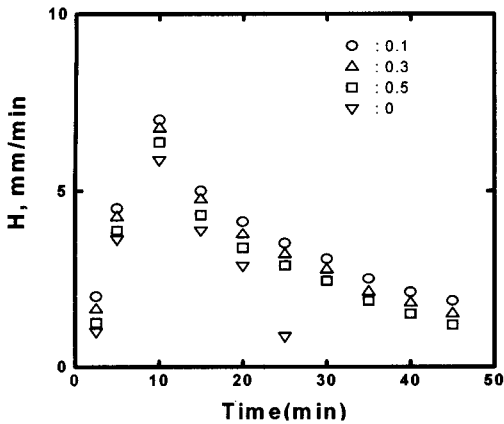


Fig. 6. Height burning rate of benzene in sands

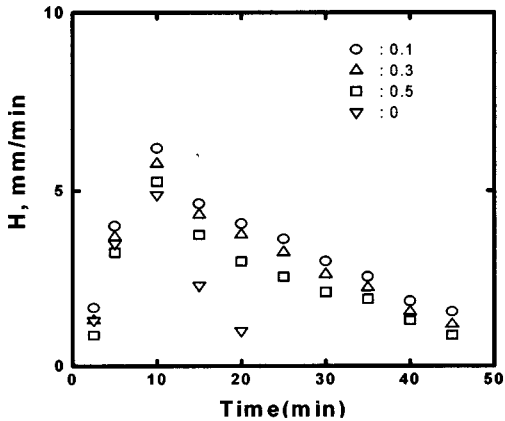


Fig. 7. Height burning rate of toluene in sand

는 용기의 온도 630°C, 600°C로 10분후의 용기온도가 최고 온도를 나타내는 것과 관계가 있는 것으로 생각되고 방사열과도 관계가 있는 것으로 생각된다. 또한 모래의 입경의 영향은 입경이 작을수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 벤젠과 톨루엔의 연소현상은 확산 속도로 입경이 작은 경우 모래의 표면에서 방사열에 의한 기화량이 증가하므로 확산속도가 커지기 때문으로 사료되고 모래가 없이 벤젠 톨루엔만 연소시켰을 때 연소속도가 모래에 침지시켰을 때 보다 훨씬 작은 것은 방사열의 영향을 조금 받기 때문에 기화량이 적어 확산 연소의 영향을 덜 받는 것으로 사료된다.

3.3. 연소온도와 연소현상

연소온도는 화재시 방사열과 밀접한 관계로

주위 저장탱크에 전파의 영향을 미쳐서 화구(fire ball) 형태로 인화점이 낮은 인화성물질의 화염속도를 촉진시킬 수 있으며 자연발화를 촉진시켜 화재의 위험성을 증가시킬 수 있다⁷⁾.

그림 8과 9는 벤젠과 톨루엔을 모래에 침지시켰을 때 연소온도와 순수한 벤젠과 톨루엔만 연소시켰을 때의 연소온도를 나타낸 것이다. 여기서 모래에 침지시킨 경우의 모래의 입경이 0.5mm인 경우 연소 10분 후의 연소온도는 최고치를 나타내었고 벤젠의 경우 800°C, 톨루엔의 경우 750°C를 나타내었고 모래의 입경이 작아질수록 연소온도는 낮아졌다. 이는 입경이 작은 경우 입경이 큰 경우에 비해 열용량이 작기 때문으로 사료된다. 또한 모래없이 벤젠과 톨루엔만 연소시켰을 때 연소온도는 연소 5분 후 최고치를 나타내었으며, 연소온도는 510°C로 비슷하였고 모래에 침지시켰을 때와의 차이는 300°C 정도 높았다. 이것은 연소온도가 벤젠과 톨루엔의 발화온도(560°C, 480°C)보다 높으므로 화재초기 방화모래를 사용하고 화재를 소화시키고 있으나 모래의 입경과 양에 따라 화재를 촉진시킬 수 있다는 사실을 발견할 수 있다.

따라서 석유화학 유기용제의 화재시에 초기 방화모래를 사용하는 경우 입자가 작은 모래를 충분한 양으로 하여 화재를 진압할 것을 추천할 수 있다.

벤젠과 톨루엔의 연소현상은 이미 발표¹⁵⁾ 한 메틸알콜 등 알콜류보다 연소속도가 작았으며

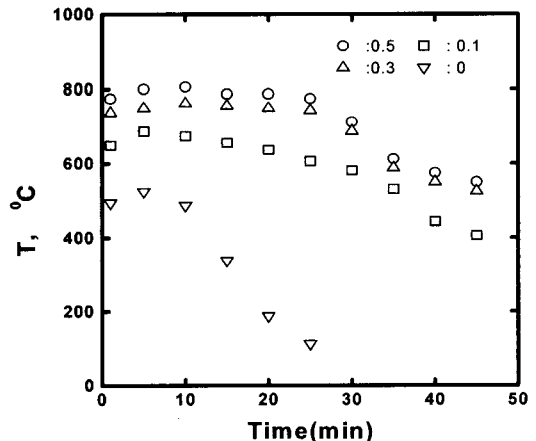


Fig. 8. Temperature distribution on various sand diameter for benzene

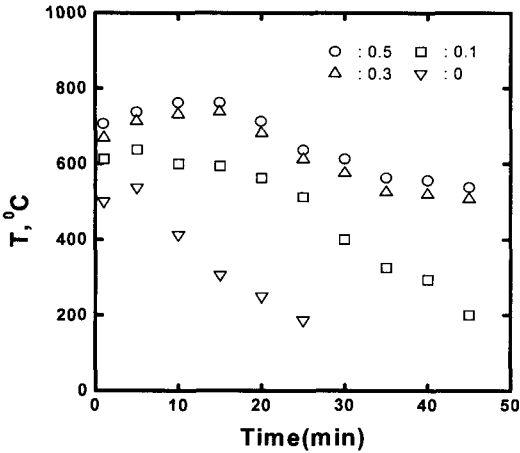


Fig. 9. Temperature distribution on various sand diameter for toluene

기화량이 작기 때문에 그을음이 심하게 나타났다. 또한 연소시간도 40~50분으로 훨씬 길었다.

4. 결론

대표적 방향족 유기용제인 벤젠과 톨루엔을 모래에 침지시켜 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 벤젠과 톨루엔의 연소속도(질량감소)는 연소초기 최고 값인 6g/min, 5.5g/min이었고, 모래 없이 연소시킨 경우 3.6g/min, 3g/min으로 모래에 침지시킨 경우가 훨씬 컸다.
2. 연소속도(수위감소)는 점화 10분 후 최고값을 나타내었고 모래의 입경이 커질수록 연소속도는 감소하였다.
3. 벤젠과 톨루엔의 연소온도는 최고 800°C와 750°C로 발화온도보다 높았고 모래의 입경이 클수록 높았다.

참고문헌

- 1) H. H. Fawcett and W. S. Wood, "Safety and Accident Prevention in Chemical Operations", John Wiley & Sons, N.Y, 1982.
- 2) 安全工學協會, "安全工學編覽", コロナ社, 1983.
- 3) 이윤용, 소방기술정보, (겨울), 10, 1987.
- 4) 北川 徹三, "化學安全工學", 日刊工業新聞社, 1971.
- 5) 安全工學協會編, "火災", 海文堂, 1983.
- 6) 平野 敏右, "燃燒學", 海文堂, 1986.
- 7) 湯本 太郎, "液面における 燃燒速度と放射熱", 東京理科學大學 博士論文, 1977.
- 8) V. I. Blinov and Khudyakov, G. N, "Diffusion Burning Liquid", Izv. Akad. Nauk SSSR, Moscow (1961); English Transl. U. S. Army Engineering Research and Development Laboratories, T-1490 a-c, ASTIA AD296, p. 125.
- 9) M. L. Bullen, "The ventilation required to permit growth of a room fire". Building Research Establishment, BRE CP 41/78, 1978.
- 10) Akita, K and Yumoto, T, "Heat transfer in Small Pools and Rates of Burning of Liquid Methanol", Tenth Symp. (International) on Combustion, p. 943, The Combustion Institute, Pittsburgh, 1965.
- 11) 武田 久弘, 川口 隆, 秋田 一雄, 日本火災學會, 31(2), 1981.
- 12) H. Takeda and K. Akita, "Critical phenomenon in Compartment Fires with Liquid Fuels", 18th symposium (international) on Combustion, p. 519, 1981.
- 13) 金鏞鎰, "室內火災의 性狀に 關する 研究", 横浜國立大學 博士論文, 1991.
- 14) 竹內朝光, 平野敏右, 鶴田 俊, 日本安全工學, 第20回, 安全工學シンポジウム, 249, 1990.
- 15) 우인성, 황명환, 다공성물질에 함침시킨 알콜의 연소특성, 한국산업안전학회, Vol. 9, No. 1, pp. 76~82, 1994.
- 16) 安全工學協會編, "爆發", 海文堂, 1983.