

모래에 함침시킨 알코올의 연소특성

Combustion Characteristics of Immobilized Alcohols in Sands

우 인 성*

In-Sung Woo

(1996년 3월 9일 접수, 1996년 9월 20일 채택)

ABSTRACT

Combustion characteristics of immobilized methyl, ethyl and propyl alcohols on sands were studied. Experiments were performed by burning methyl, ethyl and propyl alcohols immobilized on sands (particle size 0.1~0.5mm) and ceramic balls (particle size 5mm) to measure mass burning rate, height burning rate and combustion temperature.

It was concluded that the longer time from ignition to extinguishment was resulted from the larger particle size of sands and the smaller size of sands exhibited the higher mass burning rate. Of alcohols tested the relative magnitude of facilitation of combustion was methyl>ethyl>propyl alcohol.

Combustion temperature of alcohols, without regard to the types of alcohols, was not increased with smaller sands. However, with larger sands, combustion temperature of alcohols was increased with the larger particle.

1. 서 론

가연성 액체 (combustible liquid)는 가연성이고 또한 상온에서 액체이므로 액체로서의 유동성 때문에 유출되면 넓은 범위로 퍼지고 연소할 수 있는 가연성 매체가 있다면 화재 폭발의 위험성을 가지게 된다. 그리고 증기압이 높은 가연성 액체일수록 액체의 표면에서 지속적으로 가연성 증기를 발산하므로 발화원에 의하여 인화 또는 가스폭발을

일으킬 위험성을 가지고 있다. 따라서 이러한 가연성 액체 (유기용제)의 화재폭발 특성에 대한 기본자료의 확보가 필요하게 되었다^{1~4)}.

화재의 주체는 연소로 연소는 성상에 따라 액체연료의 연소, 기체연료의 연소, 고체연료의 연소로 나눌 수 있으며 석유화학물질의 연소는 대부분 액체연료의 연소와 기체연료의 연소로 나눌 수 있고 액체연료의 연소는 액면연소, 액적연소, 증발연소 및 분무연소가 있다^{5,6)}. 액면연소(pool

* 시립 인천대학교 공과대학 산업안전공학과

burning)는 액면상에서 그 증기가 공기와 혼합하여 연소하는 불균일계 확산연소의 일종으로 이에 관한 연구는 주로 연소를 계속하기 위한 필수조건인 화염으로 부터 액면으로의 열전달과 화재확대의 원인인 열방사에 관하여 湯本太郎⁷⁾이 연구하였고, Blinov와 Khudyakov⁸⁾는 연소용기의 직경과 연소속도에 관한 연구에서 연소용기의 직경이 10cm까지는 연소속도가 감소하고 그 후 직경의 증가와 함께 증가한다는 결과를 보고하였고, 武田과 秋田^{9,10)} 및 김광일¹¹⁾은 환기지배의 연소에 있어서 나타나는 진동연소과정의 거동을 연구 보고하였으며 이러한 액면연소형태의 화재는 석유tank저장조의 화재, 해저 유전에서 분출되는 해상화재 등이 있다.

근년에 있어서 화재피해의 규모는 사용된 내장재의 재질에 따라 대규모화 복잡화 되고 있으며 화염등의 피해보다는 연소생성유독가스등의 발생으로 인한 간접적 피해에 의한 인명 피해가 증가하고 있고 이러한 유독가스에 의한 인명에 미치는 위험성에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 내장재의 방염물질의 종류에 따른 독성가스 발생 및 동물 실험에 관하여 Levin¹²⁾과 守川과 筋内 등¹³⁾이 연구하였고 독성평가에 관한 연구는 Hartzell등¹⁴⁾이 일산화탄소와 시안화수소의 독성가스를 이용하여 독리학의 방법론으로 부터 근사모델을 제시하였으며 宮内廣明¹⁵⁾은 고분자물질의 연소시 연소가스의 독성평가를 연구하였다.

석유화학 공장에서의 화재는 다공성 고분자 물질 등과의 복합화재의 형태로 석유화학물질 단독의 화재보다 피해의 규모는 훨씬 크게 나타난다²⁵⁾. 또한 석유화학 물질이 지표로 유출되는 경우도 그와 같은 규모의 화재가 일어날 것으로 예측되나 지금까지의 화재에 있어서 연소특성 및 유해가스독성 평가에 관한 연구는 석유화학물질 즉 유기용제, 고분자물질 단독적으로 존재할 때 만의 연구로 복합적인 화재시의 연소특성에 관한 연구와 본 연구와 같이 다공성물질에 유기용제가 함침되어서 일어나는 연소특성에 관한 연구는 거의없는 실정이다.

본 연구에서는 화재 초기에 사용되어지는 모래에 인화점이 낮은 매질, 에칠 및 프로필알콜 등 유기용제가 침적되었을 때 연소특성을 측정하여 방화의 기초자료를 얻는데 목적이 있다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

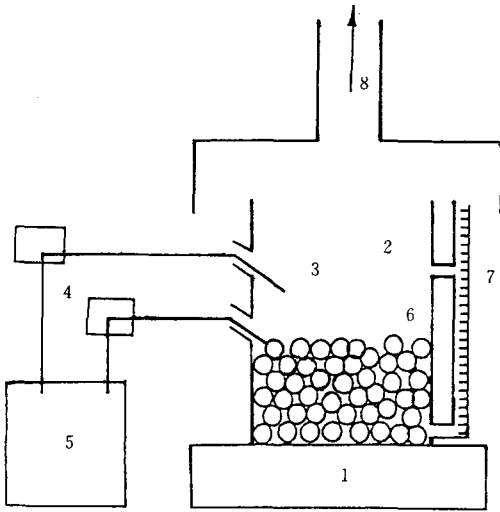
본 실험에서 사용한 연소특성장치는 연소장치의 내경이 연소속도에 영향을 받지 않기 위하여 Blinov와 Khudyakov⁸⁾의 연구결과를 참고하여 전보¹⁶⁾와 같이 Fig. 1과 같이 직경 100mm, 높이 150mm의 원통형 Stainless제품으로 유기용제가 연소할 때 연소속도를 측정하기 위하여 측면에 유리 액위계를 부착하여 연소시 액위의 변화를 알 수 있게 하고 연소시 유기용제의 증량변화와 온도변화를 측정하기 위하여 digital balance에 연소장치를 올려놓고 증량변화를 측정하였으며 온도는 연소장치의 모래의 표면과 중심부에 chromel-alumel thermo couple을 설치하여 기록계에 연결시켜서 연소 온도변화를 측정하였다.

2.2 실험방법

다공성 물질에 함침시킨 유기용제의 연소특성 실험은 Fig. 1의 연소 용기에 직경 0.1~0.5mm의 모래를 50mm 깊이로 채우고 증량을 측정한 후 유기용제인 methyl alcohol, ethyl alcohol, n-propyl alcohol 등 탄소수가 1~3개의 대표적 알콜류인 유기용제를 모래 표면까지 함침시킨 후 증량을 측정하고 액위계의 눈금을 기록하였다. 그리고 연소온도 변화를 측정하기 위하여 모래 표면과 바닥에서부터 100mm의 중심에 chromel-alumel 열전대를 설치하여 X-Y기록계를 통하여 모래 표면의 온도와 화염 중심부의 온도를 측정하였다. 연소특성 실험은 위의 방법으로 모래의 입경변화, 유기용제의 종류에 대하여 각각 연소를 시킨 후 시간의 변화에 따른 액위계의 눈금변화, 증량감소의 변화 및 온도변화를 측정하였다. 또한 각 순수 유기용제에 대한 연소특성도 측정하여 비교 검토하였다.

2.3 실험재료

연소특성실험의 다공성 물질은 직경 0.1~0.5mm의 모래와 5mm 알루미늄 세라믹볼을 사용하고 유기용제는 탄소수의 변화에 따른 연소특성을 비교하기 위하여 인화점이 낮은 C₁~C₃의 99% methyl, ethyl 및 propyl alcohol을 각각 사용하였다.



- 1. Electric digital balance
- 2. Combustion vessel
- 3. Thermo couple
- 4. Thermo meter
- 5. X-Y recorder
- 6. Sands
- 7. Liquid level indicator
- 8. Hood

Fig. 1 Schematic diagram of combustion characteristics measuring apparatus

3. 결과 및 고찰

3.1 알콜에 따른 연소 질량 속도

모래에 알콜을 함침시켰을 때 연소특성을 알아보기 위하여 메칠알콜, 에칠알콜 및 프로필알콜의 연소시 시간에 따른 질량연소속도(mass burning rate)를 Fig. 2와 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 실험은 연소용기에 모래와 ceramic ball을 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5mm의 입경별로 각각 50mm정도 채우고 각 알콜을 모래와 표면까지 함침시킨 후 thermo couple를 표면과 바닥에서부터 100mm 높이에 각각 장치한 다음 thermo meter와 X-Y 기록계를 연결시키고 알콜용기 전체의 무게와 수위를 기록하고 착화시킨 순간부터 시간의 변화에 따른 무게변화, 온도변화 및 수위변화를 측정하였다. Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4에서 보여주는 바와같이 메칠알콜, 에칠알콜 및 프로필알콜 모두 모래의 입경이 작을수록 질량연소 감소속도는 커지는 경향을 나타내었고, 5mm 세라믹볼과 순수알콜만 연소시켰을 때 보다 훨씬 크게 나타났다. 이것은 전보¹⁶⁾의 세라믹볼에 알콜을 함침시켜 연소특성을 실험한 연구결과와 竹内朝光 등¹⁷⁾의 연구결과에

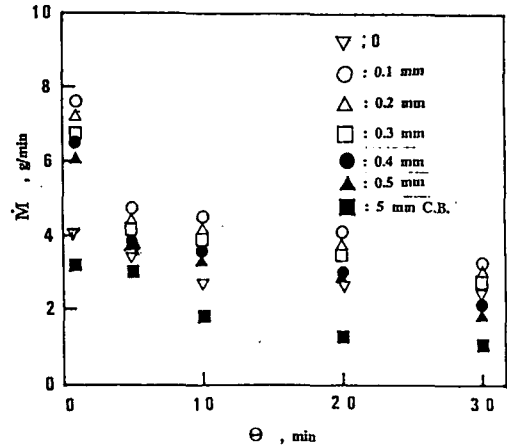


Fig. 2 Effect of sand diameter on mass burning rate for methyl alcohol

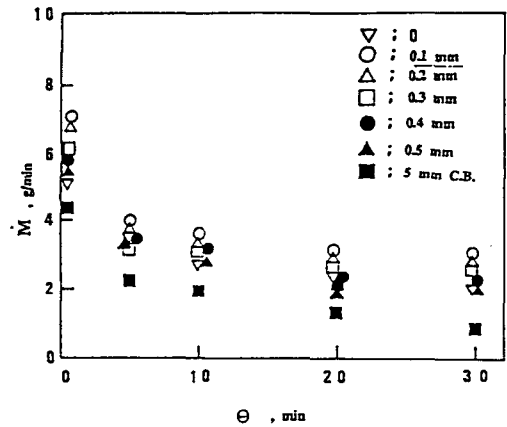


Fig. 3 Effect of sand diameter on mass burning rate for ethyl alcohol

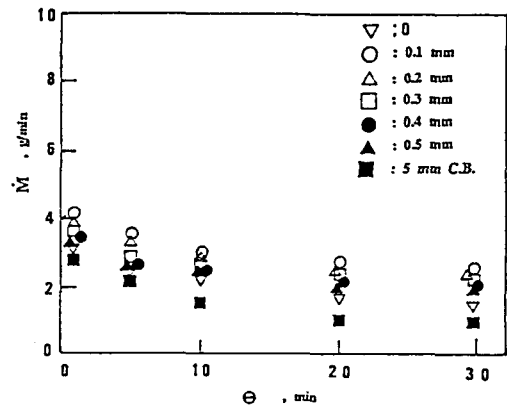


Fig. 4 Effect of sand diameter on mass burning rate for propyl alcohol

같은 경향을 나타내고 있고 보통화재 초기에 소화시키기 위하여 사용하는 방화사의 입경과 사용되어지는 량에 따라 화재를 촉진시킬 수도 있다는 것을 나타내고 있다. Fig. 5는 각 알콜의 질량연소감소 속도를 비교하기 위하여 입경 0.3mm의 모래에 각 알콜을 함침시켜 실험한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 연소속도는 메칠알콜>에칠알콜>프로필알콜 순서로 각 알콜의 인화점의 순서와 일치하고 진보의 세라믹볼에 함침시켰을 때보다 훨씬 큰 경향을 나타내고 있다. Fig. 6은 모래의 입경변화에 대한 질량연소속도를 나타낸 것으로 입경이 커질수록 연소속도는 감소하는 것을 알 수 있다.

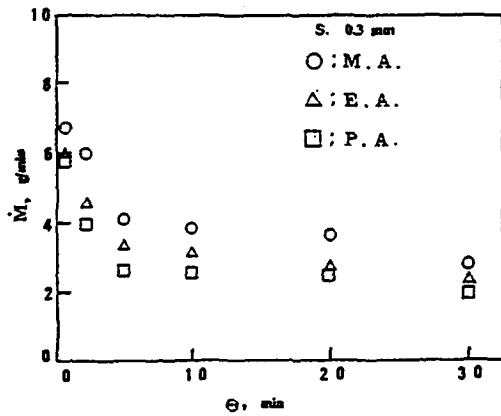


Fig. 5 Comparison of mass burning rate with methyl alcohol, ethyl alcohol and propyl alcohol

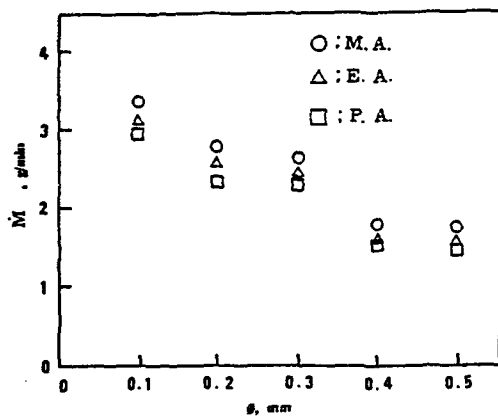


Fig. 6 Comparison of mass burning rate on sand diameter with methyl alcohol, ethyl alcohol and propyl alcohol

3.2 알콜의 연소수위 감소속도

연소수위 감소속도는 연소속도에 영향을 주는 인자(풍속, 온도, 액의 조성, 압력 및 산소 농도)로서 연소수위 감소속도의 크기에 따라 즉, 용기에 담긴 액의 액주(free board length)에 따라 소멸 시간이 달라지므로 화재의 진화에 중요한 변수가 될 것이다⁷⁾. Fig. 7은 0.3mm의 모래에 알콜을 함침시켰을 때 각 알콜의 연소 수위 감소속도를 나타낸 것이다. 실험은 연소용기에 0.3mm의 모래를 50mm 채우고 각 알콜을 모래와 같은 높이로 부어 착화시킨 후 연소에 의하여 감소되는 수위를 기록하였다. 여기서 연소감소속도는 매우 커서 메칠알콜은 4분, 에칠알콜은 6분, 프로필알콜은 9분 사이에 각각 눈금을 기록할 수 없었고 연소시간도 같은 경향으로 길어졌다. Fig. 8은 메칠알콜을 여러 입경의 모래와 세라믹볼에 함침시켰을 때 연소수위 감소속도를 나타낸 것으로 연소속도는 연소시작 3분쯤 피크를 나타내었고 모래의 입경이 작을수록 큰 것을 알 수 있으며 5mm 세라믹볼에 함침시킨 경우 보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 이것은 액체의 연소는 확산연소로 입경이 작은 다공성물질의 표면에서 알콜의 기화 증발량이 많아 확산속도⁷⁾가 크기 때문으로 생각되고 세라믹볼의 입경변화에 따른 알콜의 연소특성을 연구한 결과와 같은 경향을 나타내었다. Fig. 9는 모래와 세라믹볼의 입경

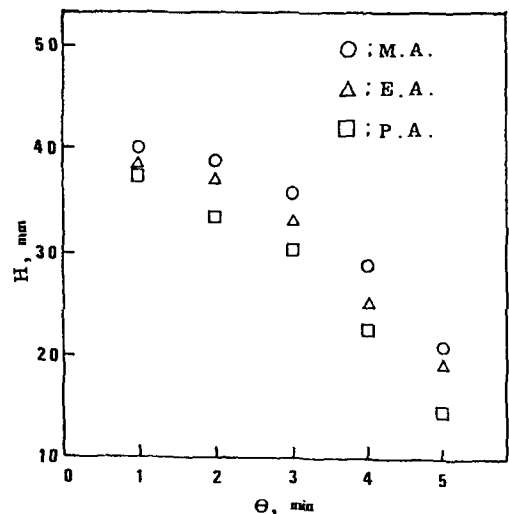


Fig. 7 Comparison of decreased burning height with methyl alcohol, ethyl alcohol and propyl alcohol

변화에 따른 각 알콜의 평균 연소 수위 감소속도를 나타낸 것으로 세라믹볼의 입경은 모래의 입경보다 10배가 큰 1~5mm이다. 여기서 모래에 함침시킨 경우가 세라믹볼에 함침시킨 경우보다 훨씬 컸으며 모래와 세라믹볼 모두 입경이 커질수록 연소 수위 감소속도는 작아지는 것을 알 수 있다. 알콜에 따른 평균 연소수위 감소속도는 메칠알콜 > 칠알콜 > 프로필알콜 순서로 감소하였다.

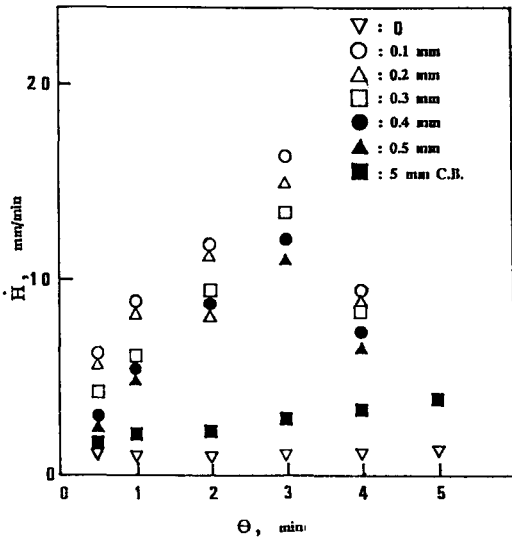


Fig. 8 Effect of sand diameter on height burning rate for methyl alcohol

3.3 알콜의 연소 온도

연소온도는 가연성 물질의 인화점, 발화점과 밀접한 관계가 있고 화재에 있어서 화염전파의 가능성을 나타내는 인자로서 연소온도가 높으면 열전달속도가 커지므로 화재를 촉진시킨다.^{5,7)} Fig. 10은 메칠알콜을 모래의 입경변화에 따른 연소온도 분포를 나타낸 것이다. 여기서 모래의 입경이 클수록 연소온도는 높았고 5mm 세라믹볼의 경우는 최고 연소온도가 400°C이나 0.5mm 모래의 경우 800°C로 훨씬 높았다. 또한 입경에 따른 연소온도는 입경이 클수록 컸다. 이것은 연소온도가 메칠알콜의 발화점보다 높으므로 화재초기 방화사를 사용하여 화재를 소화시키고 있으나 모래의 입경에 따라 화재를 촉진시킬 수 있다는 결과로 생각된다. Fig. 11은 0.3mm의 모래에 각 알콜을 함침시

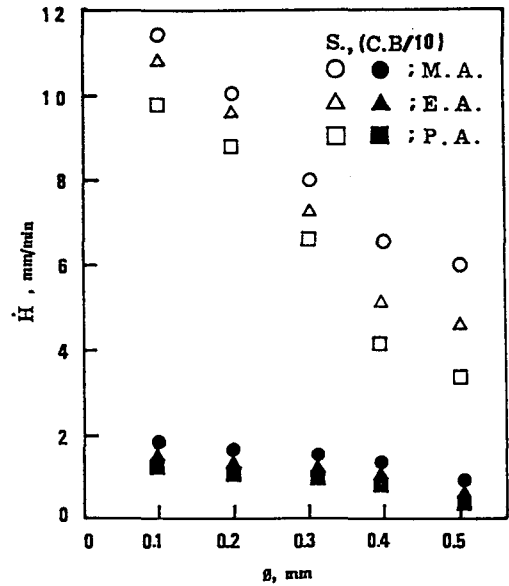


Fig. 9 Comparison of average height burning rate on sand diameter with methyl alcohol, ethyl alcohol and propyl alcohol

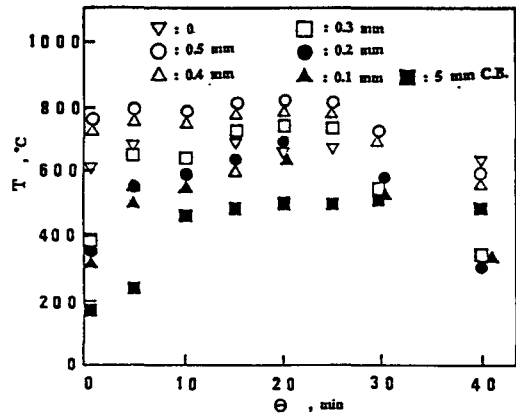


Fig. 10 Temperature distribution on variable sand diameter for methyl alcohol

켜 알콜의 종류에 따른 연소온도를 나타낸 것으로 연소온도는 메칠알콜 > 칠알콜 > 프로필알콜의 순서로 높은 것을 알 수 있다. 이것은 연소속도의 경향과 같이 연소속도가 커면 알콜의 기화량이 커져서 방열량이 많아지므로 연소온도가 높은 것으로 사료된다.

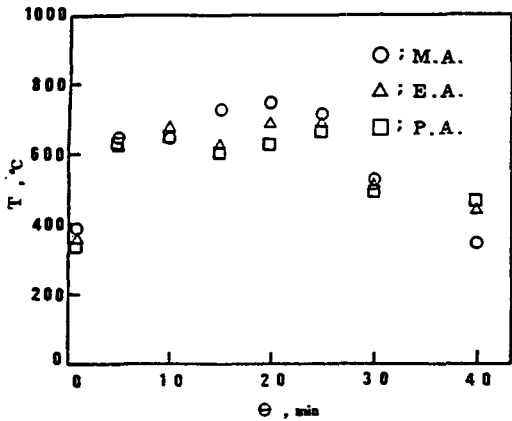


Fig. 11 Comparison of temperature distribution with methyl alcohol, ethyl alcohol and propyl alcohol

4. 결 론

모래에 메칠알콜, 에칠알콜 및 프로필알콜을 함침시켜 연소특성을 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 질량연소속도는 알콜에 관계없이 모래의 입경이 작을수록 커지고 알콜에 따른 순서는 메칠알콜 > 에칠알콜 > 프로필알콜이었다.
- 2) 모래의 입경이 커질수록 착화해서 소화까지의 연소시간은 길어진다.
- 3) 연소온도는 모래의 입경이 클수록 높았다. 즉 방화사로 사용하는 경우 모래의 입경과 사용하는 량에 따라 화재를 촉진시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) H. H. Fawcett and W. S. Wood., Safety and Accident Prevention in Chemical Operations, John Wiley & Sons, N. Y. 1982.
- 2) T. H. Ladwig., Industrial Fire Prevention and Protection, Van Nostrand Reinhold, N. Y. 1991.
- 3) 内藤 道夫, 火災·爆發の科學, 中央勞動災害防止協會, 1989.
- 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 博士論文, 1977.
- 8) V. I. Blinov, and Khudyakov, G. N., Dokl. Akad. Nauk SSSR, Vol. 113, No. 5, p. 1094, 1957.
- 9) 武田 久弘, 川口 隆, 秋田 一雄., 小型模型室内の 火災實驗に見られる 不安定現象について, 日本火災學會, Vol. 31, No. 2, pp. 51~57, 1981.
- 10) H. Takeda. and K. Akita., Critical Phenomenon in Compartment Fire with Liquid Fuels, 8th syposium(international) on Combustion, pp. 519~522, 1981.
- 11) 金鑛鎰, 室内火災の 性狀に 關する 研究, 横浜國立大學 博士論文, 1991.
- 12) B. C. Levin, M. Paabo, C. S. Railey, and S. B. Harris, Toxicity of the Combustion Products from a Flexible Polyurethane Form and a Polyester Fabric Evaluated Separately and Together by the NBS Toxicity Test Method, Fire Safety Science, Proceeding of First International Symposium, Hemisphere Pub. Co., pp. 1111~1115, 1986.
- 13) T. Morikawa., and E. Yanai., Toxicity Evaluation of Fire Effluent Gas from Experimental Fire in Building, J. Fire Sci., 5, pp. 28~33, 1987.
- 14) G. E. Hartzell., D. N. Priest, and W. G. Switzer., Modeling of Toxicological Effect of Fire Gases : Mathematical Modeling of Intoxication of Rats by Carbon Monoxide and Hydrogen Cyanide, J. Fire Sci., 2, pp. 115~121, 1985.
- 15) 宮内 廣明, 高分子物質における 燃燒生成カスの毒性評價, 横浜國立大學 修士論文, 1987.
- 16) 우인성, 황명환, 다공성 물질에 함침시킨 알콜의 연소특성, 한국산업안전학회, Vol. 9, No. 1, pp. 76~82, 1994.
- 17) 竹内朝光, 平野敏右, 鶴田俊, 多孔質固體に浸潤にした 可燃性液體の 燃燒, 日本安全工學, 第20回, 安全工學シンポジウム, pp. 249~252, 1990.