

## R22/DME 혼합냉매의 폭발한계농도 측정연구

권오성, 김영준, 김재덕, 김영래\*, 오성근\*\*

한국과학기술연구원 청정기술연구센터, 아로켄 기술연구부, 한양대학교 화학공학과\*\*

### Measurement of Explosion Limits of R22/DME Refrigerant Mixture

Osung Kwon, Young Jun Kim, Jae-Duck Kim, Young-Lae Kim\*, Seong-Goun Oh\*\*

Clean Technology Research Center, Korea Institute of Science and Technology

Department of Technology and Development, AROCHEM

Department of Chemical Engineering, Hanyang University\*

#### 1. 서론

지구의 오존층보호를 위한 몬트리얼의정서에 의해 CFC(염화불화탄소) 냉매의 생산과 사용이 규제됨에 따라 전세계적으로 새로운 친환경냉매를 개발하고 있다. 친환경냉매 중 DME는 인체에 무해한 무색기체이며 물리적 성질과 연소특성은 LPG와 유사하다. 특히 안정한 화합물로서 부식성이 없어 CFC대체 신냉매로 유력한 후보물질이다.

그러나 DME는 친환경물질이지만 가연성, 폭발성으로 잠재적 위험성을 가지고 있으며 이를 연료 이외의 다른 용도로 사용할 경우에도 취급, 저장, 수송에서 취급 미숙에 의한 위험성을 가지고 있으므로 DME 안전한 취급을 위해 폭발한계의 데이터를 필요로 한다. DME의 끓는점은  $-25^{\circ}\text{C}$ 로 석유계 가스인 프로판과 부탄의  $-42^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ 의 중간값을 가지고 있어 기존 냉매인 CFC-12와 유사하다. 증기압은  $0^{\circ}\text{C}$ 에서 DME  $2.6\text{kg}/\text{cm}^3$ , 프로판  $4.7\text{kg}/\text{cm}^3$ , 부탄  $1\text{kg}/\text{cm}^3$ 로 거의 중간적인 물질이나 압력이 낮아 냉매로 효율이 떨어지며 냉매로 사용할 경우 냉매의 효율과 비가연성을 높이기 위해 폭발방지용 다른 냉매가스를 첨가하여 사용되어야 한다. 본 연구에서는 DME와 비가연성 냉매의 혼합비율별 폭발한계를 비가연성 냉매와 일정비율로 혼합된 냉매로 사용될 경우로 한하여 실험을 통해 측정하였다.

#### 2. 이론

혼합냉매 폭발한계 계산은 Le Chatelier법칙(1)을 이용하며 혼합된 냉매, 각각 냉매의 폭발농도는 문헌자료를 참고하여 Le Chatelier법칙에 적용하여 계산한다. 계산하여 얻어진 폭발한계값으로 위험도(H)를, 식(2)에 대입하여 위험도를 얻을 수 있다.

$$\frac{100}{L} = \frac{V_1}{L_1} + \frac{V_2}{L_2} \quad (1)$$

$$H = \frac{(U-L)}{L} \quad (2)$$

L : 혼합냉매 폭발한계(상한계, 하한계)

L<sub>1</sub> : 냉매① 폭발한계(상한계, 하한계)

V<sub>1</sub> : 냉매① 폭발부피

L<sub>2</sub> : 냉매② 폭발한계(상한계, 하한계)

V<sub>2</sub> : 냉매② 폭발부피

혼합냉매의 폭발한계 계산 값으로 얻어진 폭발영역과 실험으로 얻어진 폭발한계 폭발영역을 비교함으로써 비가연성냉매가 폭발영역을 축소시키는 것을 비교 분석한다.

### 3. 실험

폭발한계에 영향을 주는 요인은 혼합물의 조성, 압력, 온도, 습도 등이 있다. 본 실험에서는 ASHRAE 34와 ASTM E681-98 표준 측정 방법을 일부 수정하여 측정하였으며 그 개요도를 Fig.1에 나타내었다. 즉 압력은 101.3kPa, 습도는 절대습도 50%로 고정하였고 온도는 혼합냉매가 외부 노출 시 온도에 따른 폭발농도를 확인하고자 변화를 주었다. ASHRAE 34와 ASTM E681-98에서 점화원은 15kV, 30mA로 4500mJ의 점화 에너지를 0.4초 간격으로 1초 동안 공급하고 있으나 본 실험에서는 16kV, 28mA로 4480mJ의 에너지를 0.5초 간격으로 3초 동안 공급하였다. Table 1.은 ASHRAE 34와 ASTM E681-98의 표준과 본 실험 조건을 비교한 것이다.

Table 1. ASHRAE 34 & ASTM E681-98의 기준과 본 실험조건 비교

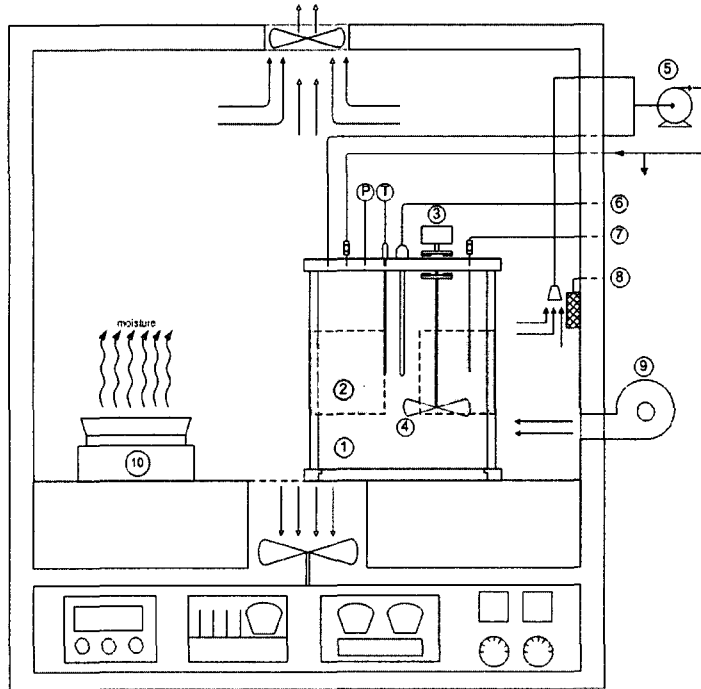
Methodology	Temperature	Pressure	Relative Humidity	Ignition Source	Vessel & Volume
ASHRAE 34 & ASTM E681-98	23.0℃	101.3kPa	50%(±5%)	15kV, 30mA (at, 12L)	Round Flask 12L or 5L
This Test	15℃~70℃	101.3kPa	50%(±2%)	16kV, 28mA (at, 5L)	Cylinder 5L

Fig 1.에서와 같이 Oven안에 Vessel을 설치하여 Oven안에서 이미 습도와 온도가 실험 조건에 충족된 공기를 사용하여 가연성 냉매와 혼합을 시킨다. 이 때 공기의 이송은 소형 순환 펌프를 사용하여 원하는 부피의 공기와 혼합냉매를 공급하고 대기압인 101.3 kPa를 백등분하여 각각의 분압을 농도비로 환산한다. 압력 값을 측정하는데 사용한 Pressure transducer는 Omega제품을 사용하였고 압력의 기록은 Yokogawa μ100을 사용하여 10-3까지 측정하였다. 점화원은 16kV, 28mV로 에너지를 발생시키는 Ignition trans를 사용하고 습도계는 디지털방식 절대습도 센서로 입력값을 50%에 지정하여 ±1% 오차범위에서 Fig 1.에 나오는 Pump⑨를 습도 51%에 자동으로 가동하게 49%에서 정지시켜 습도를 유지한다.

그리고 humidity의 유지를 위해 oven 내부에 hot-plate를 두어 수증기를 발생시켜 51%이상의 습도에서 방출된 수증기를 보충하도록 하였다. 그리고 공기와 가연성 냉매의 혼합을 위해 fan 대신 impeller를 사용하여 혼합 하였다. impeller의 회전은 상판 frenzy에 설치된 모터의 회전과 자력으로 혼합한다.

폭발 실험을 위해 일정량의 DME를 R22에 첨가하여 원하는 농도의 혼합냉매를 제조한 후, 일정량을 Sample bag에 포집하여 Gas Chromatography를 이용하여 혼합냉매의 조성을 확인한다. Oven내에 실험조건에 맞추어진 공기를 압력값을 이용하여 원하는 vol(%)까지 vessel안으로 이동시키고 0.5초 간격으로 3초 동안 3회 점화시켜 폭발 유무 확인한다.

각각의 혼합냉매의 농도에 따라 온도별 변화를 주어 폭발실험을 진행하였으며 주로 상온(25℃)에서 첫 폭발실험을 진행하여 10℃의 온도 변화 폭을 주어 폭발 유무에 따라 온도를 승온 또는 감온 시켰다. 특히, 이론적 상·하한계 근처에서는 온도에 폭발 유무가 예상되므로 vessel 내부온도를 1℃~3℃까지 변화 폭을 주어 실험하였다. 실험 최저 온도는 15℃이다.



- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1. Explosion Vessel | 6. Spark Igniter   |
| 2. Heater           | 7. Sample Inlet    |
| 3. Motor            | 8. Humidity Sensor |
| 4. Impeller         | 9. Fan             |
| 5. Circulation Pump | 10. Hot Plate      |

Fig 1. 폭발한계 측정장치



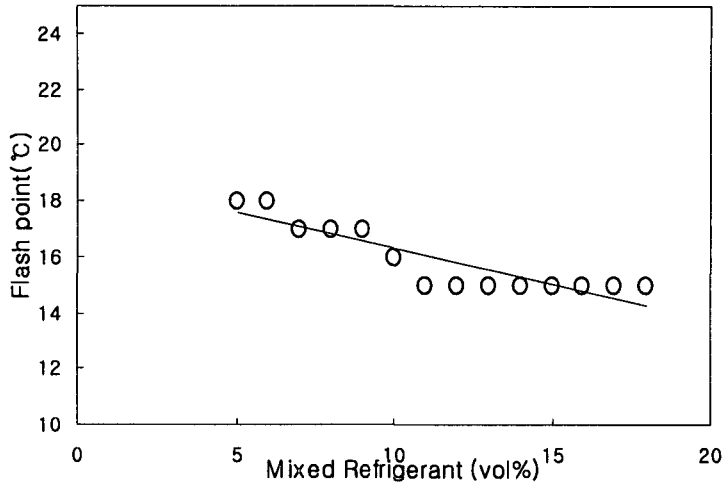


Fig. 2. DME가 첨가된 혼합냉매 농도의 온도별 LFL

또한, DME와 비가연성 냉매의 고정된 혼합비율에서 공기 부피의 증가에 따른 폭발영역은 Fig 3.과 같다. 그리고 단일 DME 성분과 공기의 혼합에서 폭발 농도와 DME 첨가된 혼합냉매의 폭발영역을 비교하면 비가연성 냉매가 보다 많이 첨가될수록 폭발상·하한계의 폭이 좁혀짐을 알 수 있었다.

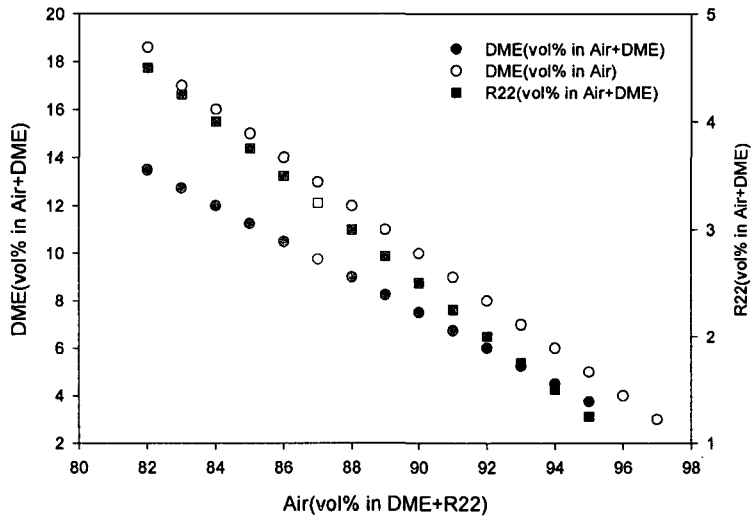


Fig. 3. DME 순수물질의 폭발한계와 DME 첨가된 혼합냉매의 폭발한계 비교

## 5. 결론

가연성인 DME와 비가연성인 R-22가 혼합된 냉매의 폭발한계를 측정하는 실험장치를 설치하여 냉매혼합비, 온도에 따른 폭발한계를 측정하였다. 예상대로 R-22의 함량이 높을수록 폭발한계가 좁아진다. 온도에 따른 폭발한계는 공기중 냉매함량이 높아질수록 낮은 온도에서도 폭발된다.

## 참고문헌

1. 하동명, “프로판의 폭발한계의 온도 및 압력의존성에 관한 연구”, 한국화학 공학회, 6(1), (2003), pp186~191.
2. 하동명, “가연성 혼합물 폭발한계 예측”, 3(1) (1997) p1637.
3. Kevin J. Liekhus et al, Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 13 (2000) 377~384
4. S,Y, Liao, “Experimental study of flammability limits of natural gas-air mixture”, J. of Haz. Mat. (2005).
5. [5] David P. Wilson et al., "Determination of Refrigerant Lower Flammability Limits" ASHRAE Transaction 2002, vol. 108, part 2, pp739~756.
6. Domnina Razus et al., "Limiting oxygen concentration evaluation in flammable gaseous mixtures by means of calculated adiabatic flame temperatures", Chemical Engineering and Processing. 43 (2004), 775~784.
7. C. Liao, N. Saito, Y. Saso, "Flammability Limits of Combustible Gases and Vapors Measured by a Tubular Flame Method", Fire Safety Journal. 27 (1996), 49~68
8. Kevin J. Liekhus et al, "Flammability of gas mixtures containing volatile organic compounds and hydrogen", J. of Loss Prevention in the Process Industries. 13 (2000), 377~384.