

PART 3

혼합 유기용제(신나)에 대한 위험성평가



차 례

I. 서 론	75
1. 목적	75
2. 대상시료	75
3. 평가 범위 및 항목	75
II. 시험 장비 및 방법	76
1. 비중	76
2. 끓는점	80
3. 증기압	84
4. 열분석(DSC)	89
5. 인화점	92
6. 자연발화점	98
7. 폭발한계	103
III. 결과 및 고찰	108
1. 비중	108
2. 끓는점	109
3. 증기압	110
4. 열분석(DSC)	111
5. 인화점	113
6. 자연발화점	114
7. 폭발한계	115
IV. 요약 및 결론	116

I. 서론

1. 목적

독성연구팀 2007년도 연구과제인 『혼합 유기용제(신나)의 흡입독성 연구』 관련 연구 업무와 병행하여 해당 시료에 대한 물리화학적 특성 및 화재 폭발 특성과 관련된 기본 정보를 취득, 제공함은 물론 유사 제품의 사용 및 취급과 관련된 사고예방에 기여

2. 대상 시료

- 시료명 : 신나012(상품명)
- 제조사 : (주)케이씨씨
- 용 도 : 건축 도료용 에나멜 희석제
- 조 성⁴⁾
 - 탈취등유(Deodorized kerosene) : 71 ~ 80 %
 - 크실렌(Xylene) : 21 ~ 30 %
 - 그 외 첨가물(영업비밀) : 1 ~ 10 %

2. 평가 범위 및 항목

- 물리화학적 특성 : 비중, 비점, 증기압
- 화재·폭발 특성 : 열분석, 인화점, 자연발화점, 폭발한계

4) 제조사인 (주)케이씨씨 MSDS 근거

II. 시험 장비 및 방법

1. 비중 (Density)

밀도는 시료의 단위 부피당 질량을 말하며, Archimedes Principle, 즉 부력의 법칙(액체에 빠진 물체는 그 물체가 밀어낸 액체의 무게와 똑같은 힘을 수직 방향으로 받는다)을 이용하여 측정한다. 비중은 시료의 밀도와 물의 밀도의 비로서 시료 및 물의 온도 조건을 나타내는 기호를 덧붙여서 나타낸다. 밀도 및 비중 측정 방법의 종류는 시료의 상태(액체, 고체 또는 기체)에 따라 다양한 방법이 있으며 본 시험에 사용된 시험 장비는 천칭법을 적용하도록 설계되었다.

1) 시험장비

본 시험장비는 저울과 밀도 측정 Kit로 구성되어 있고, 천칭법에 의해 고체와 액체의 밀도를 측정할 수 있다.

(1) 장비명 및 제조사

가) 장비명 : AX Balance and Density Determination Kit

나) 제조사 : METTLER TOLEDO

(2) 구성 및 사양

가) 저울 : 부력을 측정하여 시료의 밀도 및 비중을 구한다.

나) 저울 사양 : Max Capacity 220 g, Readability 0.01 mg

다) 밀도 측정 Kit : 비이커, 고체용 홀더, 온도계, Sinkers 등



[그림 1] 비중시험 장치

(3) 시험 중 주의사항

- 가) 측정 장소는 온도 및 습도를 허용차 내에서 일정하게 유지할 수 있는 공조 설비를 갖춘 실험실이어야 한다.
- 나) 질량의 측정에 이용하는 용기, 시료 등은 오차가 되는 부착물이 없어야 하기 때문에 깨끗한 환경에 보관함과 동시에 씻은 핀셋 또는 장갑을 낀 손으로 다루어야 한다.
- 다) 측정 시료가 고체인 경우, 시험액인 물에 녹지 않아야 한다.
- 라) 액체 시료가 혼합물일 경우, 상분리나 시료의 구성성분 중 휘발분 증발에 의한 조성변화로 인하여 측정결과의 재현성에 영향을 줄 수 있다.

2) 시험 방법

액체 시료 측정의 경우 밀도를 알고 있는 고체를 액체 시료 속에 담갔을 때 받는 부력을 저울로 측정하여 밀도를 구하며, 고체 시료 측정은 시료를 공기 중 및 밀도를 알고 있는 액체(물) 속에서 저울을 이용해 질량 및 부력을 측정하여 밀도를 구한다.

(1) 시험규격 : KS M 0004 : 1997 화학제품의 비중 측정 방법
(5.4 , 6.1 천칭법)

(2) 적용 제외 물질 : 미세분말, 시험액에 용해되는 고체 시료

(3) 시험조건 : 위 규격에서는 화학제품의 밀도 및 비중의 기준 온도를 20 ℃로 규정하고 있으므로, 측정 장소의 상태는 표준 상태의 기압에서 온도 20 ± 5 ℃로 하며, 시료의 온도는 20 ± 0.5 ℃로 유지해야 한다.

(4) 시험절차(고체)

가) 고체용 Holder를 저울의 매달기 고리에 걸고 질량(W_1)을 측정한다.

나) 시료를 약 5 g 정도 취하여 Holder에 올려놓고 질량(W_2)을 측정한다.

다) 시험액을 넣은 비이커를 Platform 위에 올려놓고, 시료가 담긴 Holder를 매달기 고리에 걸어 시험액 중의 질량(W_3)을 잰다.

라) 가)~다)를 총 3회씩 측정한 후, 시험액 중에 Holder만의 질량을 측정하여 W_4 로 한 후, 계산식에 따라 질량을 입력하여 비중을 계산한다.

(5) 시험절차(액체)

가) 밀도(D_w)를 알고 있는 Sinker를 저울에 장착한 후 질량(W_1)을 잰다.

나) 시험액을 넣은 비이커에 Sinker를 담그고 이 비이커를 Platform 위에 올려놓는다.

- 다) Sinker를 고리에 걸고 시험액 속에서의 질량(W_2)을 측정한다.
 라) 가)~다)를 총 3회씩 측정하여 계산식에 따라 질량을 입력하여 비중을 계산한다.

(6) 결과 표기

- 가) 밀도 및 비중 값은 소수점 이하 셋째자리 또는 유효 숫자 3 자리 이상의 정밀도로 구한다.

〈표 1〉 시료의 밀도 및 비중의 계산

	고체	액체
계산식	$D = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)} \times D_w$ $S = \frac{D}{0.9982}$	$D = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times D_w$ $S = \frac{D}{0.9982}$
비고	D : 밀도 (20 ℃) (g/cm ³) S : 비중 (20/20 ℃) W ₂ -W ₁ : 시료의 공기중 질량 (g) W ₃ -W ₄ : 시료의 시험액 중의 질량 (g) D _w : 시험액의 밀도 (20 ℃) 0.9982 : 20 ℃에서의 물의 밀도 (g/cm ³)	D : 밀도 (20 ℃) (g/cm ³) S : 비중 (20/20 ℃) W ₁ : sinker 및 holder의 공기중 질량합계 (g) W ₂ : sinker 및 holder의 시료중 질량합계 (g) D _w : sinker의 밀도 (20 ℃) 0.9982 : 20 ℃에서의 물의 밀도 (g/cm ³) D

2. 끓는점(Boiling Point)

끓는점(Boiling Point)이란 액체의 증기압이 대기압(101.325 kPa)과 평형이 되는 온도를 말한다. 따라서 끓는점은 대기압에 영향을 받기 때문에 만약 끓는점이 표준 대기압(101.325 kPa)에서 측정이 이루어지지 않았을 경우에는 Clausius-Clapeyron 식을 바탕으로 한 다음의 식을 이용하여 보정이 이루어져야 한다.

$$T_{std} = T_p + \frac{T_p [K] \cdot \ln \frac{p_{std}}{p}}{11.3}$$

끓는점 측정방법은 Ebulliometer에 의한 방법, 동적 방법(Dynamic Method), 증류법(Distillation Method), Siwoloboff에 따른 방법, 광전지 검출법(Photocell Detection), 시차열분석기(Differential Thermal Analysis), 시차주사열량계(Differential Scanning Calorimetry) 등 다양하다. 본 위험성평가에서 사용된 끓는점 측정은 광전지 검출법(Photocell Detection)을 사용하였다. 광전지 검출법은 액체 시료의 승온에 따른 기포 발생빈도(Bubble Frequency)를 광학센서에 의해 감지됨으로써 끓는점이 측정된다.

1) 시험장비

본 시험장비는 OECD Test Guideline 및 Directive 92/69/EEC의 부속서에서 제시한 Photocell detection 방법에 의하여 끓는점을 측정할 수 있도록 고안된 시험 장비이다. 직경이 2.9 ~ 3.1 mm, 길이가 80 mm인 유리 재질의 Boiling Point Tube와 Bumping을 방지하기 위한 Boiling Capillary가 사용되어 진다. 측정범위는 상온에서 375 °C까지의 끓는점을 측정할 수 있다.

(1) 장비명 및 제조사

가) 장비명 : Melting and Boiling Point Measurement Instrument
(FP90, FP81)

나) 제조사 : Mettler - Toledo(스위스)

(2) 구성 및 역할



[그림 2] Melting and Boiling Point Measurement Instrument

가) FP90(Central Processor) : Measuring Cell의 온도조절 및 기록, 측정 프로그램 설정 및 Control Parameter 설정 등에 사용된다.

나) FP81(Measuring Cell) : Central Processor(FP90)에서 결정된 가열속도에 의해서 Cell을 가열하면서 시료의 기포 발생빈도를 광학센서에서 감지하여 결과를 FP90으로 전송한다.

다) 프린터 : 끓는점 측정 결과물을 출력한다.

(3) Operating Range : RT ~ 375 °C

2) 시험 방법

끓는점 측정방법은 Ebulliometer에 의한 방법, 동적 방법(Dynamic Method), 증류법(Distillation Method), Siwoloboff에 따른 방법, 광전지 검출법(Photocell Detection), 시차열분석기(Differential Thermal Analysis), 시차주사열량계(Differential Scanning Calorimetry) 등 다양하다. 본 위험성평가에서는 Photocell Detection 방법으로 OECD Test Guideline 및 Directive 92/69/EEC의 부속서에서 제시한 방법을 적용하여 끓는점을 측정하였다.

끓는점 측정은 액체시료를 Boiling Point Tube에 15~18 mm를 주사기로 충전하고 그 Tube 속에 Boiling Capillary를 넣은 후 FP81 Measuring Cell에 투입하여 온도를 상승시킨다. 이때 발생한 Bubble은 광원에 Reflection 되어지고 Photosensor에서 Detection 하여 끓는점을 측정하게 된다. 이때 끓는점의 Bubble Frequency는 0.6 Hz이다.

(1) 시험 규격 : OECD Guideline 및 Directive 92/69/EEC

(2) 적용 범위 : 화학제품의 상온이상 375 °C 이하의 끓는점을 측정하기 위한 액체물질에 적용된다.

(3) 조건 및 주의사항 : 시료를 Boiling Point Tube 주사기로 충전할 때 Bubble이 생기지 않도록 주의하여야 한다.

(4) 시험 절차

가) 시료의 준비 : 주사기를 이용하여 시료를 Boiling Point Tube에 15 ~ 18 mm 정도까지 Bubble이 생기지 않도록 충전한 후 Tube 속에 Boiling Capillary를 삽입한다.

나) 시험 순서 : FP90에서 끓는점 측정 모드 및 가열속도, 대기

압력 등을 설정한 후 준비된 시료를 FP81에 투입한다.

다) 끓는점 측정 : 시료의 Bubble Frequency가 0.6 Hz가 되면 끓는점으로 기록되어 진다.

(5) 결과 평가

총 3회 측정한 결과값에 대하여 통계적 처리 절차를 거쳐 최종 끓는점으로 결정한다.

3. 증기압(Vapor Pressure)

물질이 액체상태에 있다는 것을 특징 정하는 가장 중요한 특성 중에 하나가 그 물질의 증기압이다. 액체가 진공에 걸린 벌브 안에 있으면, 액체의 온도와 본성에 의해서 결정되는 일정한 증기압에 도달할 때까지 분자들은 액체상으로부터 계속적으로 나와서 기체상으로 들어간다. 이 때 평형에 도달한 압력을 그 액체의 증기압이라 부른다. 이 평형 증기압은 정해진 온도에서 액상과 기상이 평형상태로 각각 존재하는 한, 존재하는 액체와 기체의 양에 관계없이 일정하다. 온도가 증가함에 따라서 증기압 또한 임계점까지 상승하며, 임계점에서는 두개의 상이 균일하게 되어서 한 개의 상을 갖는 유체가 된다. 요약하면, 증기압이란 주어진 온도에서 상변화가 일어나게 되는 일정한 압력을 말한다, 즉, 주어진 온도에서 두 상(액체, 기체)이 평형상태로 공존할 수 있는 압력을 뜻한다. 따라서 증기압은 온도의 함수이다.

증기압 측정방법은 동적시험법(Dynamic Method), 정적 시험법(Static Method), 리드법(Reid Method) 등 측정범위 및 원리에 따라 다양하다. 본 위험성평가에서 사용된 증기압측정은 리드법(Reid Method)을 사용하였다. 리드법(Reid Method)에 의한 증기압측정은 대기압에서 실시되기 때문에 진공상태에서 측정되는 동적 또는 정적 시험법에서 측정되는 증기압보다 약간 낮다. 그러나 리드 증기압을 많이 사용하는 이유는 대기압에서 측정되기 때문에 실제 공정에서 유용하게 사용될 수 있기 때문이다.

액체의 증기압 데이터는 안정성 파라미터를 제공하기 때문에 화학물질의 위험성평가에 중요하다. 이 파라미터는 해당 물질의 가연 위험성 분류에 고려되어진다. 즉, 그 물질을 사용하는 작업환경이 (얼마나 쉽게) 연소범위를 형성할 수 있는지의 판단 자료를 제공해 준다.

1) 시험장비

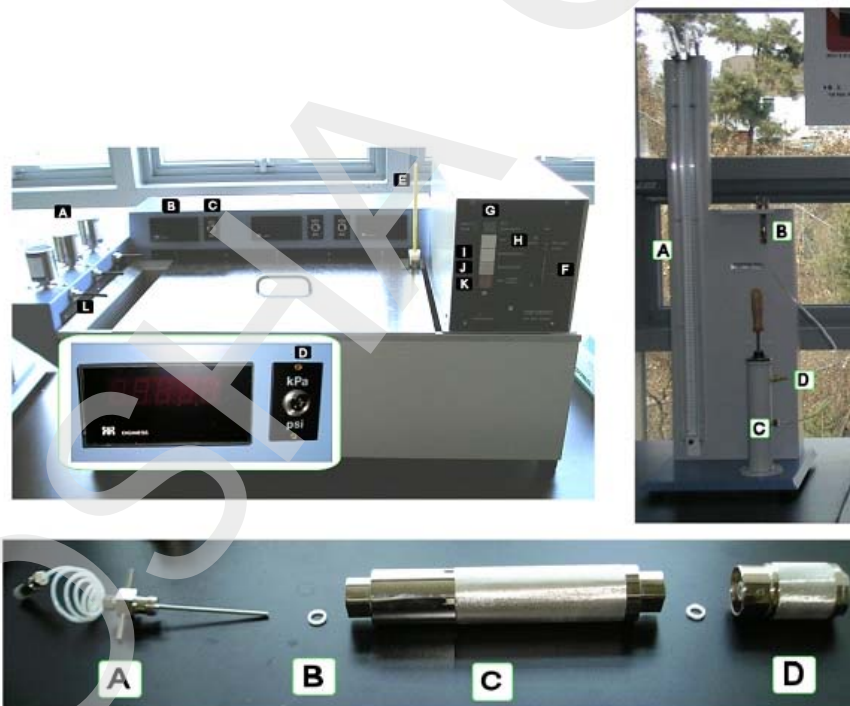
본 시험장비는 ASTM D 323, DIN EN 12, KS M ISO 3007 시험규격에 의하여 석유제품의 리드 증기압을 측정할 수 있도록 고안된 장치이다. 증기압이 180 kPa 이하인 시료의 경우에는 1구 Liquid Chamber를 사용하고, 증기압이 180 kPa 이상인 시료는 2구 Liquid Chamber를 사용한다.

(1) 장비명 및 제조사

가) 장비명 : Semiautomatic Vapor Pressure Tester(Reid method)

나) 제조사 : WALTER HERZOG HerZog(독일)

(2) 구성 및 역할



[그림 3] Semiautomatic Vapor Pressure Tester

- 가) 본체 : 항온조, Operating Key, 압력센서, 온도계 등으로 구성되어 있으며, Chamber를 항온조에 넣어 Chamber 내부가 평형상태에 도달하였을 때 압력을 측정한다.
- 나) Manometer : 본체의 압력센서를 교정할 때 사용한다.
- 다) Liquid 및 Vapor Chamber : 냉각된 시료를 Liquid Chamber에 담아 Vapor Chamber와 연결하여 본체의 항온조에 넣는다.

(3) Operating Range 및 Resolution

- 가) Operating Range : 0 ~ 170 kPa
- 나) Resolution : 0.1 kPa

2) 시험 방법

증기압 시험방법은 동적시험법(Dynamic Method), 정적 시험법(Static Method), 리드법(Reid Method) 등 측정범위 및 원리에 따라 다양하다. 본 위험성평가에서는 리드법으로 KS M ISO 3007 및 ASTM 323 규격을 적용하여 증기압을 측정하였다.

Vapor Pressure Apparatus의 Liquid Chamber에 0 ~ 1 °C로 냉각된 시료를 담아 37.8 °C의 Vapor Chamber에 연결한 다음, 이를 37.8 ± 0.1 °C로 유지한 항온조에 넣고 압력센서와 연결된 Chamber를 일정하게 회전시켜 액체와 기체가 평형상태에 도달하여 일정한 압력이 되는 지점을 리드 증기압으로 기록한다. 보유 시험장비는 0 ~ 170 kPa까지 측정 가능하다.

- (1) 시험 규격 : KS M ISO 3007 “석유제품 - 증기압시험방법 - 리드법”
- (2) 적용 범위 : 액화석유가스를 제외한 휘발성 원유 및 비점주성인 석유제품의 절대 증기압 측정

(3) 조건 및 주의사항

- 가) 증기압 측정용 시료를 채취하는 시료용기의 크기는 1 ℓ 이
어야 하며, 시료는 용기의 70 ~ 80 %를 채취하여야 한다.
- 나) 증기압은 기화로 인한 손실과 미세한 성분변화에 민감하게
달라지기 때문에 시료의 처리과정에서 특별하고 세심한 주의
가 필요하다.

(4) 시험 절차

- 가) 시험의 준비 : 시료와 Liquid Chamber를 0 ~ 1 °C로 유지되
는 냉각장치에 넣어 충분히 냉각시키고, Vapor Chamber는
37.8 ± 0.1 °C로 유지되는 항온조에 충분히 넣어둔다.
- 나) 시험 순서 : 0 ~ 1 °C로 냉각된 시료를 냉각된 Liquid
Chamber에 주입한 후 37.8 ± 0.1 °C로 유지된 Vapor
Chamber와 신속하게 연결한 후 압력센서를 부착하여 37.8 ±
0.1 °C로 유지되는 항온조에 넣어 일정하게 Chamber를 회전
시켜 준다.
- 다) 증기압 측정 : Chamber 내의 액체와 기체가 평형에 도달하
여 측정 압력이 일정할 때의 값을 리드 증기압으로 기록한
다.

(5) 결과 평가

- 가) 총 3회 측정하여 반복성 및 재현성 최대허용편차에 들어오는
결과값에 대하여 통계적 처리 절차를 거쳐 최종 리드 증기압
으로 결정한다.
- 나) 반복성 및 재현성 허용 편차는 <표 2>, <표 3>과 같다

〈표 2〉 증기압의 반복성(Repeatability) 최대허용편차-동일 시험자, 장비

측정 증기압 범위[kPa]	최대허용편차[kPa]
0 ~ 35	0.7
35 ~ 110	2.1
110 ~ 180	2.1

〈표 3〉 증기압의 재현성(Reproducibility) 최대허용편차-다른 시험자, 장비

측정 증기압 범위[kPa]	최대허용편차[kPa]
0 ~ 35	2.4
35 ~ 110	4.9
110 ~ 180	2.8

4. 열분석(DSC ; Differential scanning calorimetry)

열분석이란 물질의 물리적 변수(Physical Parameter)를 온도의 함수로 나타내는 분석 방법이다. 즉 물질의 온도를 일정하게 변화시킴에 따라 나타나는 열적 특성 변화를 분석하는 것이다. 이 때 어떤 물리적 변수의 변화를 볼 것인가에 따라 여러 가지 방법들이 있는데 대표적인 방법들은 아래와 같으며 본 시험 평가에서는 DSC를 이용한 열분석을 실시하였다.

〈표 4〉 열분석 측정방법의 종류

측정법	관측량	기호	단위
DTA(Differential Thermal Analysis)	온도차	ΔT	K
DSC(Differential Scanning Calorimetry)	열흐름	Δq	Joule/s=Watt
TGA(Thermo Gravimetric Analyzer)	중량	g(%)	g
TMA(Thermo Mechanical Analysis)	길이	$\Delta L(\%)$	m

1) 시험장비

(1) 장비명 및 제조사

가) 장비명 : TA2000

나) 제조사 : TA Instrument(미국)



[그림 4] DSC(Differential Scanning Calorimetry)

(2) 장비 구성 및 사양

가) Standard DSC Cell

〈표 5〉 Standard DSC Cell 사양

항 목	Spec.
Temperature Range	실온 ~ 500 °C
Sample Size	0.5 ~ 100 mg
Sample Volume	10 mm ³
Pressure	대기압 ~ 266 Pa(2 torr)
Temperature Repeatability	± 0.1 °C
Calorimetric Sensitivity	3 μW

나) DSC Module 2910 : DSC Cell을 작동시키기 위한 기반으로
TA 프로그램과 케이블로 연결되어 있음.

2) 시험방법

DSC(시차주사열량계)는 시료와 불활성 기준물질을 동일한 온도 프로그램에 따라 변화시키면서 시료로부터 발생하는 열유속 차이(Difference in Heat Flow)를 측정한다. 열유속(Heat Flow)은 전도된 전력(Transmitted Power)에 상당하며 와트(W; Watt)나 밀리وات트(mW)단위로 측정된다. 열유속이나 전도전력을 시간으로 미분하면 에너지량으로 환산되며 $\text{mW} \cdot \text{s}$ 나 mJ 로 표시된다. 전도된 에너지는 시료의 엔탈피(Enthalpy) 변화에 상당한다. 즉, 시료가 에너지를 흡수하면 엔탈피 변화는 흡열(Endothermic)이며 에너지를 방출하면 발열(Exothermic)이라 한다. DSC는 엔탈피 변화와 전이에 의해 발생하는 열적 거동에 대한 다양한 정보를 제공하며 비열, 열적 효과, 유리전이(Glass Transition, T_g), 화학반응, 녹는점 거동 등과 같은 물리적 변화량을 구할 수 있다.

- (1) 적용 대상 : 금속재료, 유무기 재료, 고분자 재료, 식품 등
- (2) 시험 조건(변수) : 측정온도범위는 실온에서 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 범위이기 때문에 끓는점이 낮은 물질은 시료준비 과정에서 휘발되므로 측정이 불가하며, 또한 측정 가능한 시료의 양은 $0.5 \sim 100\text{ mg}$ 으로 매우 소량이기 때문에 불균일 혼합물의 경우 측정결과의 재현성에 영향을 줄 수 있다.
- (3) 시험 절차 : 시료물질의 양을 $1 \sim 5\text{ mg}$ 정도 분취하여 시료용기(Pan)에 넣고 성형기(Encapsulating Press)를 사용하여 용기를 밀봉한 후, 시료와 기준물질을 각각 가열로에 놓고 공기분위기(유량 $50 \sim 60\text{ ml/min}$)에서 승온속도 $5\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ 으로 하여 $30 \sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 온도범위에서 측정한다.

5. 인화점(Flash Point)

인화점은 시료를 가열하여 작은 불꽃을 유면에 가까이 대었을 때, 기름의 증기와 공기의 혼합 기체가 섬광을 발하며 순간적으로 연소하는 최저의 시료 온도를 말한다.

인화점의 측정 방식에는 밀폐 상태에서 가열하는 방식과 개방 상태에서 가열하는 방식 2 가지가 있으며, 전자의 측정 방식으로 구한 인화점을 밀폐식 인화점, 후자의 측정 방식으로 구한 인화점을 개방식 인화점이라고 한다. 또한 동일 시료에서는 통상 개방식 인화점이 밀폐식 인화점 보다 높은 값을 나타낸다.

인화점 시험 방법의 종류는 <표 6>과 같다.

〈표 6〉 인화점 시험 방법의 종류

인화점 종류	시험방법	적용기준	적용유종
밀폐식 인화점	태그 밀폐식	인화점이 93 ℃ 이하인 시료 ※ 적용제외 시료 a) 40 ℃의 동점도가 5.5 mm/s 이상인 시료 b) 시험 조건에서 기름막이 생기는 시료 c) 현탁 물질을 함유하는 시료	원유 가솔린 등유 항공 터빈 연료유
	신속 평형법	인화점이 110 ℃ 이하인 시료	원유, 등유, 경유, 중유, 항공 터빈 연료유
	펜스키마텐스 밀폐식	밀폐식 인화점의 측정이 필요한 시료 및 태그 밀폐식 인화점 시험 방법을 적용할 수 없는 시료	원유, 경유, 중유, 전기 절연유, 방청유, 절삭유 제
개방식 인화점	클리브랜드 개방식	인화점이 80 ℃ 이상인 시료. 다만 원유 및 연료유는 제외	석유 아스팔트, 유동 파 라핀, 에어필터유, 석유 왁스, 방청유, 전기 절연 유, 열처리유, 절삭유제, 각종 윤활유

1) 시험장비

(1) 태그 밀폐식

가) 장비명 및 제조사

- 장비명 : Fully automated Flash Point Tester TAG4
- 제조사 : Petrotest(독일)



[그림 5] 태그 밀폐식 인화점 시험장치

나) 장비 구성 및 사양

- 장비 구성 : 인화점 측정 프로그램과 제어가 있는 TAG4 본체와 정확한 인화점 측정을 위해 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 까지 냉각할 수 있는 저온유지장치로 구성되어 있다.
- 측정범위 : $-30 \sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$

다) 시험 중 주의사항

- 열을 방출하므로 안전한 장소에 설치해야 하며, 경사가 있거나 통풍이 심한 곳은 인화점 측정 및 점화기 조절에 오차를 유발하므로 평평하고 통풍이 심하지 않은 곳에 설치해야 한다. 특히, 시험 중 통풍에 의해 오차가 발생할 수 있으므로 공기의 유동이 없도록 주의해야 한다.

- 점도가 높은 물질, 가열 시 Bubble이 발생하거나 부식을 유발하는 물질은 대상에서 제외한다.

(2) 펜스키마텐스 밀폐식

가) 장비명 및 제조사

- 장비명 : Pensky-Martens Closed Cup Automatic Flash Pointer Tester
- 제조사 : TANAKA SCIENTIFIC LIMITED(일본)



[그림 6] 펜스키마텐스 밀폐식 인화점 시험장치

나) 장비 구성 및 사양

- 장비 구성 : 제어부와 시험부, 결과물을 출력할 수 있는 프린터로 구성되어 있으며 제어부와 시험부는 Power Cable과 Signal Cable로 연결되어 있다.
- 측정범위 : 40 ~ 370 °C

다) 시험 중 주의사항

- 시료에서 발생하는 유해증기로부터 시험자를 보호하기 위해 자연통풍챔버 또는 흡 후드 안에 설치하고, 인화점이 55 ℃ 이하인 경우에는 시험 시 시료에서 발생하는 증기가 난류의 영향을 받아 측정된 인화점 신뢰도에 영향을 줄 수 있으므로 공기의 유동을 최대한 줄여야 한다.
- 가열 시 Bubble이 발생하여 시료컵이 넘칠 수 있으므로 시험 시 주의를 요한다.

(3) 클리브랜드 개방식

가) 장비명 및 제조사

- 장비명 : Cleveland Open Cup Automatic Flash Point Tester
- 제조사 : TANAKA SCIENTIFIC LIMITED(일본)



[그림 7] 클리브랜드 개방식 인화점 시험장치

나) 장비 구성 및 사양

- 장비 구성 : 제어부와 시험부, 결과물을 출력할 수 있는 프린터로 구성되어 있으며 제어부와 시험부는 Power Cable과 Signal Cable로 연결되어 있다.
- 측정범위 : 80 ~ 400 °C

다) 시험 중 주의사항

- 시료에서 발생하는 유해증기로부터 시험자를 보호하기 위해 자연통풍챔버 또는 흡 후드 안에 설치하고, 인화점이 55 °C 이하인 경우에는 시험 시 시료에서 발생하는 증기가 난류의 영향을 받아 측정된 인화점 신뢰도에 영향을 줄 수 있으므로 공기의 유동을 최대한 줄여야 한다.
- 가열 시 Bubble이 발생하여 Detector에 Bubble이 접촉하여 Error가 발생할 수 있으므로 시험 시 주의를 요한다.

2) 시험 방법

(1) 시험 규격 : KS M 2010 : 2004(원유 및 석유 제품 인화점 시험 방법)

(2) 시험 절차

가) <표 6>에 근거하여 인화점 시험 방법을 결정한다.

나) <표 7>에 따라 시료컵에 시료를 채운 다음 시험 장치별로 프로그램 Start 버튼을 눌러 인화점 측정을 시작한다.

다) 예상 인화점을 알고 있을 경우 이를 입력하면 <표 7>과 같이 승온 속도와 시험불꽃을 대는 온도간격에 따라 측정하게 된다.

라) 예상 인화점을 모를 경우 사전에 Scanning 모드에서 인화점을 측정해야 한다.

〈표 7〉 인화점 시험 방법에 따른 승온 속도

시험 방법	시료컵 용량	예상 인화점	승온 속도	시험 불꽃을 대는 조작의 온도 간격
태그 밀폐식	50 ± 0.5 ml	60 ℃ 미만	1 ℃/60 ± 6 초	0.5 ℃ 마다
		60 ℃ 이상	3 ℃/60 ± 6 초	1.0 ℃ 마다
펜스키마텐스 밀폐식	약 70 ml	110 ℃ 이하	5 ~ 6 ℃/분	1.0 ℃ 마다
		110 ℃ 초과		2.0 ℃ 마다
클리브랜드 개방식	약 80 ml	80 ℃ 이상	5.5±0.5 ℃ /분	2.0 ℃ 마다

(3) 결과 평가

연속된 3회의 결과의 평균값을 사용하며 계산 방법 및 정밀도는 <표 8>에 따른다.

〈표 8〉 인화점 측정 계산 방법 및 정밀도

시험 방법	정밀도			계산 방법								
	인화점(℃)	반복 허용차	재현 허용차									
태그 밀폐식	0 이상 13 미만	1.0	3.5	$F_c = F + 0.25 (101.3 - P)$ 여기서, Fc : 인화점(℃) F : 측정 인화점(℃) P : 시험 장소의 기압(kPa)								
	13 이상 60 미만	1.0	2.0									
	60 이상 93 미만	2.0	3.5									
펜스키마텐스 밀폐식	104 이하	2	4	※ 수치 끝맺음 - 태그 밀폐식 : 0.5 ℃ 단위 - 펜스키마텐스 밀폐식 : 정수단위								
	104 초과	6	8									
클리브랜드 개방식	80 이상	8	16	<table><tr><th>기압(kPa)</th><th>보정값(℃)</th></tr><tr><td>95.3 ~ 88.7</td><td>2</td></tr><tr><td>88.6 ~ 81.3</td><td>4</td></tr><tr><td>81.2 ~ 73.3</td><td>6</td></tr></table>	기압(kPa)	보정값(℃)	95.3 ~ 88.7	2	88.6 ~ 81.3	4	81.2 ~ 73.3	6
기압(kPa)	보정값(℃)											
95.3 ~ 88.7	2											
88.6 ~ 81.3	4											
81.2 ~ 73.3	6											

6. 자연발화점(Auto-ignition Temperature)

자연발화는 공기 중의 물질이 화염, 불꽃 등의 점화원과 직접적인 접촉 없이 주위로부터 충분한 에너지를 받아서 스스로 점화되는 현상을 말하며, 자연발화점은 자연발화 현상이 일어날 수 있는 최저 온도를 말한다. 일반적으로 자연발화의 발생 메커니즘은 열발화 이론에서 출발하며, 물질의 온도를 상승시키는 열원의 종류에 따라서 자연발화(Spontaneous Ignition), 자동발화(Auto Ignition), 자기발화(Pyrophoric Ignition)으로 구분되기는 하나, 일반적으로 화재 폭발 특성과 관련된 자연발화는 외부에서 열원을 공급하면서 물질의 최저발화 온도를 측정하는 자동발화를 의미한다.⁵⁾

1) 시험장비

본 장비는 DIN 51794 시험 규격에 의한 측정 장비로 3단계의 절차를 거쳐서 시료의 자연발화점을 결정하게 된다. 이때 각 단계별로 샘플이 투입되는 노(Furnace)의 온도 및 투입량을 조절하면서 해당 시료의 자연발화 여부를 결정하는데 오랜 시간과 시험자의 집중이 필요하게 된다. 본 시험에서는 이러한 일련의 과정이 자동화된 프로그램에 의해서 수행되어지도록 설계된 장비(ZPA-3, 독일)를 사용하였으며, 세부적인 사항은 다음과 같다.

5) 기본적으로 자연발화는 물질내부의 발열속도가 물질외부로의 방열속도를 추월하여 물질 내부에 축적된 에너지가 해당 물질의 산화반응(발화반응)을 위한 활성화에너지를 초과하는 경우 발생된다. 내부 발열의 메커니즘에 따라서 자연발화(Spontaneous Ignition: 상온에서 물질내부에 열이 축적되어 발생), 자동발화(Auto Ignition: 착화원 없이 물질을 가열하면서 열이 축적되어 발화), 자기발화(Pyrophoric Ignition: 자기반응성 물질이 공기 중 수분이나 산소와 반응한 후 그 반응열에 의해서 열이 축적되어 발화)로 구분된다.

(1) 장비명 및 제조사

가) 장비명 : ZPA-3 Semiautomatic Autoignition Tester

나) 제작사 : Petrotest(독일)

(2) 구성 및 역할

가) Main Controller : 노의 온도 조절 및 기록, 측정을 위한 프로그램 선정 및 Control Parameter 설정

나) 오븐 : Controller에서 결정된 가열속도에 의해서 전기로를 가열함으로써 실제적으로 샘플이 투입되는 내부 Flask를 가열, 온도센서 및 발화감지 센서의 설치

다) 자동 샘플 투입기 : 고점도 물질의 사전가열(Pre-heating), 설정된 프로그램에서 지정된 샘플의 자동 공급. Convection Oven 타입으로 최대 90 °C 까지 Pre-heating 가능하나, 반응이나 상변화 등 본래의 샘플 상태에 영향을 줄 수 있는 경우는 사전 가열을 실시하지 않는다.



[그림 8] ZPA-3 Semiautomatic autoignition tester

(3) 시험 중 주의사항

- 가) ZPA-3를 이용하여 자연발화점을 측정하는 경우, 주변의 환경에 의해서도 영향을 받기 때문에 시험 중에는 후드 등의 동작을 정지시켜야 한다.
- 나) 유독성 열분해 가스가 발생될 수 있기 때문에 사전에 유해성 정보를 확인하여 적절한 보호구를 착용해야 한다.
- 다) 장시간의 시험 시간이 요구되며, 이 기간 동안 시료의 균질성을 확보하기 위한 별도의 장비(교반)이 없기 때문에 상분리가 일어나거나 휘발분의 증발에 의해서 결정화 등의 상변화가 발생될 우려가 있는 시료는 시험 수행여부에 대한 사전 검증이 필요하다.
- 다) 장시간의 시험기간 동안 상변화가 발생되지 않더라도 구성성분 중 휘발분 증발에 의한 조성변화로 인하여 측정되는 값에 영향을 줄 수 있기 때문에 순수물질이 아닌 혼합물의 경우는 증발의 영향을 고려해야 한다.
- 라) Pre-heating을 시행하여도 점도가 높은 시료의 경우는 Auto Sample Injector에 의해서 투입될 때 광센서에 의한 Drop Counter 작동에 영향을 주어 장비의 오작동(프로그램 가동 중단)이 발생될 수 있기 때문에 사전에 충분한 주의를 요한다.

2) 시험 방법

자연발화점을 측정하는 시험 규격에는 ASTM E 659, NF T20-037, DIN 51794 등이 있으며 각각의 규격에 따라서 시험장비의 사양 및 시험절차에 조금씩의 차이가 있다. 자연발화점은 물질의 고유적인 성질이 아니며, 측정하고자 하는 시료의 성상, 산소농도, 시험장치 내의 용기 크기 및 가열 속도 등의 다양

한 인자에 의해서 값이 변화될 수 있다. 본 시험 평가에서는 DIN 51794 규격을 적용하여 자연발화점을 측정한다.

(1) 시험 규격 : DIN 51794(2003)

"Determining the ignition temperature of petroleum products"

(2) 적용 대상 : 인화성 액체 및 가스, 석유제품이나 그 혼합물

(3) 조건 및 주의사항 : 기본적으로 자연발화점이 $75^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 이내의 시료는 측정이 가능하나, 발화지연시간이 길거나 측정기간 중 물질변화(분해, 반응 등)나 상변화가 발생하는 시료는 측정결과에 신뢰도에 영향을 주기 때문에 적용 전에 신중히 검토해야 하고, 폭발성 물질은 적용을 금지한다.

(4) 시험 절차

가) 기본적으로 하나의 시료에 대해서 3단계의 시험을 수행

나) 예비 시험 : $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 속도로 플라스크를 가열한 후 측정 대상 시료의 예상 발화점(임의 결정)의 전후 100°C 범위에서 20°C 간격으로 샘플을 투입하여 발화여부를 측정한다.

다) 본 시험 : 예비시험에서 측정된 발화온도를 기준으로 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 단위로 온도를 조절하여 샘플을 투입, 발화가 되는 최저온도를 결정한다.

라) 최종 시험 : 본 시험에서 결정된 발화온도를 기준으로 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 단위로 온도를 조절하여 샘플을 투입, 발화가 되는 최저온도를 자연발화점으로 결정한다.

(5) 결과 평가

3단계의 시험을 통해서 결정된 측정값 중 가장 낮은 온도를 최종 자연발화점으로 결정하며, 총 3회 측정하여 <표 9><표 10>의 반복성 및 재현성 최대허용편차에 들어오는 결과값에 대하여 통계적 절차를 거친 후 5 ℃단위로 절삭하여 해당 시료의 최종 자연발화점으로 결정한다.

〈표 9〉 자연발화점 반복성(Repeatability) 최대허용편차-동일 시험자, 장비

측정 자연발화점 범위	최대 허용편차
300 ℃ 이하	5 ℃
300 ℃ 초과	10 ℃

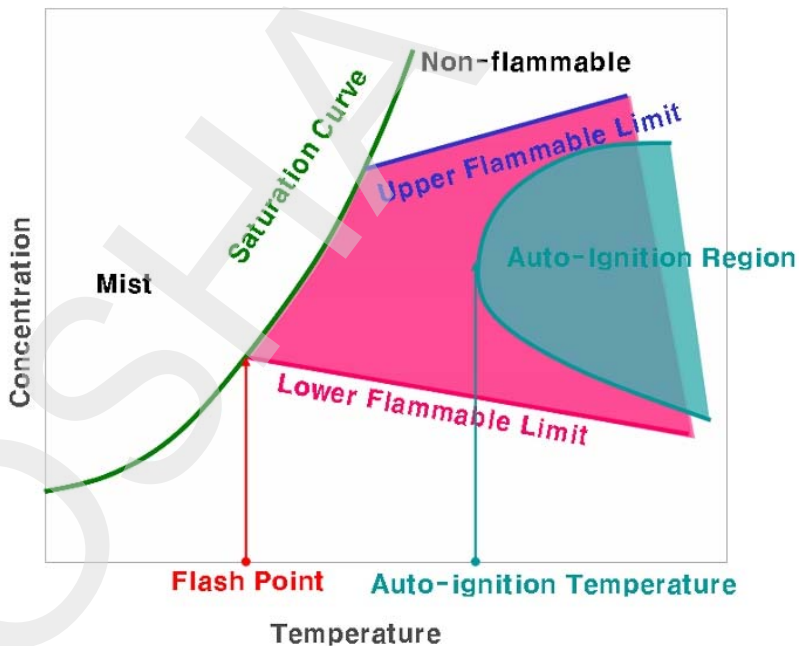
〈표 10〉 자연발화점 재현성(Reproducibility) 최대허용편차-다른 시험자, 장비

측정 자연발화점 범위	최대 허용편차
300 ℃ 이하	10 ℃
300 ℃ 초과	20 ℃

7. 폭발한계(Flammability Limit)

증기와 공기의 혼합물은 증기가 특정 농도 범위에서만 착화하여 연소한다. 이 혼합기체의 증기 농도 범위의 최소치가 폭발하한(LFL; Lower Flammable Limit)이고, 최대치가 폭발상한(UFL; Upper Flammable Limit)이라고 하고, 폭발한계 범위 보다 낮거나 높을 경우 폭발(연소)이 일어나지 않는다. 폭발한계 값은 일반적으로 부피 백분율(volume % 또는 %)로 표기하고, 분자량을 모르는 물질의 경우 mg/ℓ로 표기한다.

일반적으로 폭발한계는 온도에 따라 증가한다. LFL은 온도가 100 °C 증가할 때마다 8 % 감소하고, UFL은 8 % 증가한다. 압력에 대해서 LFL은 거의 영향이 없으나 UFL은 현격히 증가한다.



[그림 9] 여러 가지 연소 특성간의 관계

1) 시험장비

(1) 장비명 및 제조사

가) 장비명 : Flammable Range Apparatus

나) 제조사 : The Chilworth Technology社(영국)



[그림 10] 폭발한계 측정장치 구성품

(2) 구성 및 역할

가) 본체 : 폭발한계 측정 온도 제어를 담당하며 압력지시계, Oven, 점화원 및 점화제어 스위치로 구성되어 있다.

나) 진공펌프 : 헤드 어셈블리를 통하여 플라스크 내부를 감압하는데 사용된다.

다) 헤드 어셈블리 : 압력센서, 진공라인, 공기유입라인, 시료 주입구로 구성되어 있다.

라) 운전온도 : 최대 150 °C (Oven 온도 : 최대 300 °C)

(3) 시험 중 주의사항

가) 공기 중 산소의 농도는 UFL에 중요한 영향을 준다. 보통 실험실 내부 공기를 사용하면 되지만, Cylinder 공기를 사용해야 한다면, 산소농도를 $20.94 \pm 0.1 \%$ 이어야 한다.

나) 시료 각각의 성분이 25 °C에서 충분히 기화가 되지 않을 경우 모든 성분이 증발하도록 시험온도를 상승시켜 측정해야 한다.

다) 산화제 증가에 따라 폭발압력이 증가하기 때문에 공기 보다 더 강한 산화제를 사용하면 안된다.

※ (금지물질 : oxygen, nitrous oxide, nitrogen dioxide, chlorine)

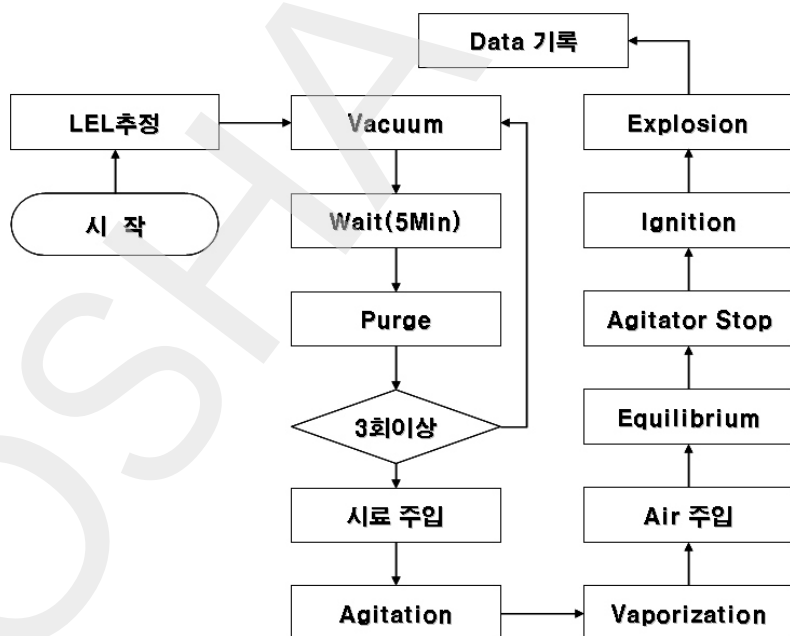
라) 고진공(-95 kPa)으로 인해 플라스크가 파열될 가능성이 있으므로 적당한 차폐물을 설치해야 한다. 아주 드문 경우지만, (특히 UFL 시험의 경우) 기화된 시료가 포함되어 있는 플라스크에 공기가 급속히 빨려들어갈 때 자기점화(Self-ignition)가 일어날 수 있으므로 안전조치에 따라 시험해야 한다.

마) 폭발성 분해반응이 일어나는 물질은 열적으로 불안정하기 때문에 본 장치로 측정할 수 없다.

2) 시험 방법

대기압 하에서 공기와 함께 가연성 혼합물을 형성할 수 있을 만큼의 충분한 증기압을 갖는 화학물질에 대한 폭발한계를 측정하는 장치로 진공상태의 플라스크에 원하는 양만큼 시료를 주입한 다음 공기(산소)와 혼합하여 완전혼합과 열적평형 상태를 만든 후에 점화원을 가하여 폭발한계를 측정한다.

- (1) 시험규격 : ASTM E 681-04 "Standard Test Method for Concentration Limits of Flammability of Chemicals (Vapors and Gases)"
- (2) 적용 대상 : 대기압 하에서 공기와 함께 가연성 혼합물을 형성할 수 있을 만큼의 충분한 증기압을 갖는 화학물질
 ※ 제외물질 : 불포화화합물, 유기산화물, 에스터, 그 외 반응성 물질
- (3) 시험 조건 : 상온에서 시료가 완전증발이 일어나지 않을 경우 온도를 조금씩 올려 시료를 완전히 증발시킨 다음에 시험을 실시한다. 최대 150 ℃까지 온도를 올릴 수 있으며 150 ℃에서 완전증발이 안되는 시료의 경우 폭발한계를 측정할 수 없다.
- (4) 시험절차



[그림 11] 폭발한계 시험절차(화염전파 시험 1회 기준)

- 가) [그림 10]과 같이 일정시료 주입 후 폭발유무를 확인한 다음 폭발이 일어날 때까지 0.1 ml(또는 0.05 ml) 단위로 시료량을 변화시켜 반복측정한다.
- 나) 이때 폭발(1회 측정)과 불폭발(2회 측정)의 평균값을 폭발한계 1회 측정값으로 한다.
- 다) 가), 나)를 총 3회씩 측정하여 평균값을 폭발하한 값으로 결정한다.
- 라) 폭발상한(UFL)도 가) ~ 다)와 동일하게 실험하여 결정한다.

(4) 결과 평가

- 가) 폭발한계 값은 일반적으로 부피 백분율(volume % 또는 %)로 표기하고, 분자량을 모르는 물질의 경우 ml/l로 표기한다.
- 나) 일반적으로 25 °C 기준으로 폭발한계 값을 측정하는데, 시료가 완전증발이 일어나지 않을 경우 승온시키기 때문에 이때에는 온도를 표기한다.
- 다) 총 3회 폭발한계 값을 측정하여 <표 11>과 같이 반복성과 재현성 최대허용편차에 들어오는 값으로 결정한다.

〈표 11〉 폭발한계 반복성 및 재현성

물 질	정확도(Precision)	LFL	UFL
탄화수소	반복성(Repeatability)	0.1 volume %	0.15 volume %
	재현성(Reproducibility)	0.1 volume %	0.9 volume %
점화가 어렵고 소염거리가 큰 물질	반복성(Repeatability)	0.2 volume %	0.8 volume %
	재현성(Reproducibility)	0.9 volume %	1.8 volume %

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 비중

1) 결과요약

유효한 신뢰도 확보를 위한 측정불확도 산출을 위하여 총 11회 측정하여 평균값을 취하였고, 시료의 성상 및 구성성분의 특성에 기인하여 II장의 시험방법에서 기술한 시험규격(KS M ISO 3007)을 적용하지 못한 시료가 있으며, 각 시료별 시험 결과는 <표 12>와 같다.

〈표 12〉 시험대상 시료별 증기압 측정결과

측정횟수	측정값	측정횟수	측정값
1	0.794	7	0.792
2	0.794	8	0.793
3	0.793	9	0.793
4	0.792	10	0.793
5	0.793	11	0.789
6	0.793	-	-

2) 결과 및 고찰

(1) 신나012 비중 측정결과

신나012 비중 : 0.793

측정불확도 : 0.002 (신뢰수준 약 95 %, $k = 2$)

(2) 시험 중 특이사항 없음

2. 끓는점

1) 결과요약

끓는점을 측정하고자 하는 물질을 Boiling Tube에 거품이 생기지 않도록 넣고 그 속에 Capillary를 넣고 Furnace에 투입하여 예상 끓는점의 -5°C 에서부터 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 승온을 시작하여 끓는점을 측정하였고, 유효한 신뢰도 확보를 위한 측정불확도 산출을 위하여 총 5회 측정하여 평균값을 취하였다.

〈표 13〉 시험대상 시료별 증기압 측정결과

측정횟수	1	2	3	4	5	평균값
측정값	156.1	155.7	156.0	155.5	155.5	155.8

2) 결과 및 고찰

(1) 신나012 비점 측정결과

신나012 비중 : 155.8°C

측정불확도 : 0.3 (신뢰수준 약 95 %, $k = 2.6$)

(2) 시험 중 특이사항 없음

3. 증기압

1) 결과요약

평가 항목에서 언급한 바와 같이 신나012에 대해 리드 증기압을 측정하였다. 리드법에 의한 증기압은 37.8 °C(100 °F)에서 측정되며, 본 시험 평가에서도 이 온도(37.8 °C)에서 시험을 실시하였다. 따라서 본 위험성평가 보고서의 측정결과에서 사용되는 리드 증기압은 37.8 °C에서의 측정된 값을 의미한다. 유효한 신뢰도 확보를 위한 측정불확도 산출을 위해 총 3회 측정하여 평균값을 취하였다.

〈표 14〉 시험대상 시료별 증기압 측정결과

측정횟수	1	2	3	평균값
측정값[kPa]	2.2	1.9	2.2	2.1

2) 결과 및 고찰

(1) 신나012 증기압 측정결과

신나012 증기압 : 2.1 kPa

측정불확도 : 0.7 (신뢰수준 약 95 %, $k = 2$)

(2) 일반적인 유기용제와 비교하여 상대적으로 증기압이 낮게 측정되었고, 참고로 Methanol은 32 kPa, Toluene은 7.1 kPa 이다.

4. 열분석(DSC)

1) 결과 요약

〈표 15〉 흡열 및 발열 Peak 분석

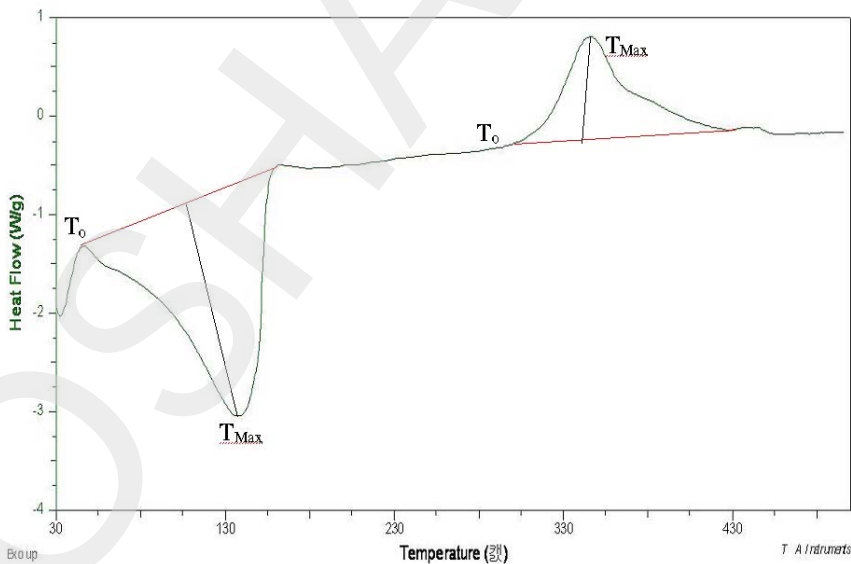
항목	흡열 Peak			발열 Peak		
	T_o [°C]	T_M [°C]	Q [J/g]	T_o [°C]	T_M [°C]	Q [J/g]
값	47.5	138.7	371.4	290.0	345.3	159.1

※ T_o (onset temperature) : 흡열 및 발열이 개시되는 온도

T_M (maximum temperature) : 해당 Peak에서 최대값을 보이는 온도

Q(total heat of generation) : 해당 구간에서 발생된 질량당 열량변화

2) 결과 및 고찰



[그림 12] 신나012의 온도 및 열량 변화 곡선

흡열은 유기용제의 상변화(증발)에 의한 잠열변화에 기인하는 것으로, 해당 시료의 구성 성분 중 저비점 물질인 크실렌의 끓는점인 138 °C 부근에서 최대 peak를 보였으며, 이후에는 290 °C부터 발열을 나타내기 시작하는데 이는 증발된 해당 시료의 분해에 의한 것으로 판단됨.

5. 인화점

1) 결과요약

평가 항목에서 언급한 바와 같이 시험규격(KS M 2010 : 2004)에 따라 태그 밀폐식 인화점 시험기를 이용하여 측정하였다. 동일 시료에 대하여 반복허용오차범위(1.0 °C)내의 연속된 3회의 평균값을 0.5 °C 단위로 하향 절삭한(안전관점) 결과는 다음과 같다.

인화점(Flash Point) = 34.5 °C (TAG Closed Cup)

측정불확도 = 1.0 (신뢰수준 약 95 %, $k = 2$)

〈표 16〉 인화점 측정결과

시료명	측정기기	측정방법	측정값 (°C)	보정값 (°C)	측정결과	
					평균(°C)	표준편차
신나012	TAG	KS 규격	34.5	34.7	34.9	0.289
			34.5	34.7		
			35.0	35.2		

※ 인화점의 경우, 그 측정원리 상 시료컵 주변의 압력에 영향을 받기 때문에 해당 시료의 측정 시의 압력에 따른 보정을 실시 해줘야 한다.

6. 자연발화점

평가 항목에서 언급한 바와 같이 1회 시험 시 Primary Test를 시작으로 수회의 발화시험을 실시하여 그 중 가장 낮은 온도를 해당 물질의 발화점으로 결정하며, 최종 결과 값은 3회 측정치의 평균값으로 정하여 시험결과는 다음과 같다.

자연발화점 = 280 ℃

〈표 17〉 자연발화점 측정결과

측정횟수	1	2	3	평균값
측정값[℃]	284	286	284	284.7

※ 기기의 검출한계에 기준한 자연발화점은 위 표에서 보는바와 같이 284.7 ℃이나 시험 규격인 DIN 51794에 의하면 안전을 위하여 측정값에서 5 ℃ 단위로 하향 절삭하여 표기하는 것을 권장함.

7. 폭발한계

평가 항목에서 언급한 바와 같이 신나012는 시험규격(ASTM E 681-04)에 준하여 실험하였고, 완전 증발이 일어날 때까지 온도를 올려 폭발하한의 경우 50 °C, 폭발상한의 경우 90 ~ 100 °C에서 측정하였다. 또한, 폭발한계 측정 결과는 통상 %로 표기하나, 분자량을 알지 못하는 시료의 경우는 mg/L로 표기하여 측정결과는 다음과 같다.

폭발하한(LFL) = 48 mg/ℓ at 50 °C

폭발상한(UFL) = 214 mg/ℓ at 90 °C

〈표 18〉 시험대상 시료별 폭발하한(LFL) 측정결과

구분	횟수	온도 [°C]	압력 [kPa]	시료량 [cm³]	측정결과	비고
폭발하한 (LFL)	1	50	100.2	0.20	No Ignition	- 완전증발을 위해 50 °C까지 승온하여 측정
	2	50	100.2	0.25	No Ignition	
	3	50	100.2	0.30	Ignition	
	4	50	100.2	0.28	No Ignition	
	5	50	100.2	0.29	No Ignition	
	6	50	100.2	0.29	No Ignition	
폭발상한 (UFL)	7	100	100.2	2.10	No Ignition	- 완전증발을 위해 100 °C까지 승온하여 측정 - 13번 시험은 90 °C로 온도를 내려 실시
	8	100	100.2	2.00	No Ignition	
	9	100	100.2	1.90	No Ignition	
	10	100	100.2	1.80	No Ignition	
	11	100	100.2	1.70	No Ignition	
	12	100	100.2	1.60	No Ignition	
	13	90	100.2	1.50	No Ignition	
	14	90	100.2	1.40	No Ignition	
	15	90	100.2	1.30	Ignition	
	16	90	100.2	1.40	No Ignition	

※ 폭발한계 산출은 Ignition(1회)과 No Ignition(2회) 시료량의 평균값을 적용

IV. 요약 및 결론

신나012의 물리화학적 특성은 비중, 증기압, 비점에 대해서 시험 평가를 진행하였으며, 주요 구성 성분의 특성값 사이에서 결과 값이 측정되었다. 단, 점도의 경우 측정장비의 검출한계(1 cP 이상)를 벗어나 측정을 할 수 없었다.

화재폭발 특성의 경우, 물리화학적 특성과 유사하게 두 구성성분의 특성값의 사이에서 결과값이 관측되었고, 열분석은 시차주사열량계(DSC)를 측정하였으며, 크실렌의 비점 부근에서 최대 흡열 Peak을 보였으며, 폭발의 잠재적 위험성을 판단 할 수 있는 발열 Peak의 Onset Point는 290 °C에서 시작하여 345 °C에서 최고온도를 나타냈다.

구성 성분의 최대 10 %를 차지하는 미지성분이 해당 시료의 화재 폭발특성에 미치는 영향은 상대적으로 미비한 것으로 보이며, 해당 시료의 주 사용용도(건축도료용 희석제)에 비추어 판단하건데 통상의 사용조건 조건에서 해당 시료가 자발적인 폭발을 일으킬 위험성은 크지 않은 것으로 판단된다.

단, 인화점 및 폭발하한계로부터 판단하건데, 일반적인 유기 용제와 유사하게 하절기 환기가 원활하지 못한 장소에서 사용하는 경우, 충분한 착화원이 존재한다면 화재 및 폭발의 위험성이 존재하므로 사용자는 시료에 대한 안전성 정보는 물론 취급상의 주의를 사용 시에 충분히 인지해야 한다.