

열전달 실험을 통한 전열온수식 LPG기화기의 액유출 원인 조사

진현기*, 이상원, 김정현
 서울시립대학교
 (saint_jin@hotmail.com*)

Investigation of LPG Overflow in a Coil-Type Vaporizer by Heat transfer analysis

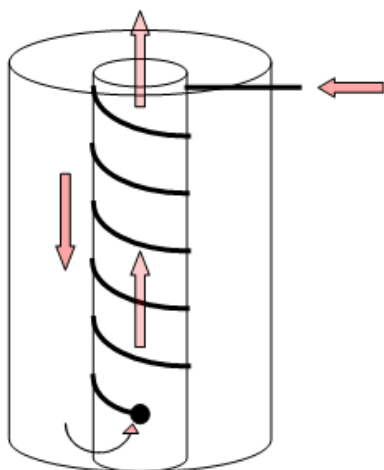
Hyun Ki Jin*, Sang Won Lee, Jeung Hyeun Kim
 Department of Chemacal Engineering, The University of Seoul
 (saint_jin@hotmail.com*)

서론

강제기화기용 전열온수식 기화기가 공급되어 사용되고, 체적거래가 시행되어 사용되기 시작한 최근 10년간 총 26건의 기화기 사고가 발생하였다. 특히 액유출에 의한 사고는 주로 기화기의 조정기와 계량기로 유인되어 기기들을 동파시키기 때문에, 이로 인해 폭발등의 대형사고가 발생할 수 있다. 기화기 내부에는 이를 방지하기 위한 액유출방지장치가 존재하지만 액유출 사고를 100%예방하지 못하고 있다. 주로 액유출 사고는 여름에 발생하며, 액유출 방지는 대형사고의 방지뿐만 아니라 기화기 자체의 효율 개선을 위해서도 필요하다. 이런 기화기 액유출의 근본적인 원인이 무엇인지는 밝혀지지 않고 있다. 따라서 우리는 기화기내의 액유출의 원인을 열전달 실험을 통해 규명하고, 실험결과를 기반으로 기화기의 효율성을 제고해보려 한다.

1. 기화기의 일반 개요

1-1 기화기의 열전달 과정



가스안전법상 액상의 LPG 연료통은 공장 외부에 위치해야 한다. 우리나라의 경우 뚜렷한 사계절로 인한 계절별 외부 온도차가 심하다. 이런 온도차이로 액상의 LPG 연료의 주입온도가 달라진다. 기화기의 몸체는 LPG는 Fig. 1.과 같이 구성된다. 액상의 LPG는 주입부로 들어가서 가운데의 포집관을 싸고 있는 열전달 코일을 통과하면서 온도가 60~70℃로 상승하면서 코일 내에서 기화되어 코일의 말단부에서 기체의 상태로 나와 포집관을 통해 조정기를 거쳐서 나오게 된다.

Fig. 1. Schemetic of coil-type vaporizer

1-2 열전달 메카니즘

액상의 LPG는 코일을 흐르면서 가열된 물로부터 기화에 필요한 증발잠열을 흡수한다. 열전달 과정의 전체적인 메카니즘은

- ① 증발하기 전까지의 구간에서의 열전달

$$\dot{m}_c C_{pc}(T_{b,p} - T_i) = q$$

T_i : 연료주입온도 (°C)

$T_{b,p}$: 연료의 상전이 온도 (°C)

\dot{m}_c : 연료의 질량 (g)

C_{pc} : 열용량 (cal / g°C)

q : 열량 (cal)

- ② 연료의 상전이(액상 → 기상)

$$\dot{m}_c \lambda = q$$

λ : 증발잠열 (cal / g)

- ③ 상전이 후의 열전달

$$\dot{m}_c C_{pc}(T_o - T_{b,p}) = q$$

T_o : 과열 증기

- ①, ②, ③의 과정을 통한 LPG의 열전달의 합은 다음 식과 같다.

$$\dot{m}_c [\lambda + C_{pc}(T_{cb} - T_{ca})] = q = UA\Delta T$$

U : 총괄열전달 계수

A : 전열 면적

ΔT : 뜨거운 연료의 온도 - 연료 주입온도

위의 최종식의 변수들 중에서 전체 열전달 과정에 변화를 줄 수 있는 factor는 전열면적과 연료의 주입온도를 생각할 수 있다. 이처럼 연료의 주입온도는 전체 열전달 과정의 중요한 변수이다. 이는 계절별 기화기의 열효율이 달라질 수도 있다는 의미이다. 주입온도의 변화에 따라 뜨거운 연료의 온도와와의 차이인 ΔT 가 달라져서 단위 면적에서의 연료가 흡수하는 열량도 달라질 수 있다. 따라서 주입온도에 따라 단위 구간에서의 열전달 속도가 달라질 수 있다는 것이다. 또한 과열된 수증기가 계속적으로 가열되면서 기상 → 액상으로 변화하는 재액화 현상이 일어날 수 있다. 이 때, LPG의 프로판과 부탄의 조성도 변수로 작용될 수 있지만, LPG는 끓는점이 일정한 공비혼합물이기 때문에 조성은 재액화에 큰 변수로 작용하지 않는다고 볼 수 있다. 이런 가정을 바탕으로 열전달 실험장치를 제작하고 실험을 통해 주입온도에 따라 달라지는 구간별 연료의 상태를 측정하여 액유출 원인을 조사하여 보고자 한다.

2. 본론

2. 1. 열전달 실험

2. 1-1. 실험장치

실제의 액상의 LPG를 대체하여 본실험에서 우리는 상온·상압에서 쉽게 기화가 가능하고 열전달을 통해 상변화를 관찰할 수 있는 물질로 아세톤(b.p : 56℃)을 선택하였다. 실제 공정에서는 액체 LPG 연료통의 자체압으로 액상의 LPG 공급이 가능하지만 본 실험에서는 액상의 아세톤을 공급하기 위해 정량펌프를 사용하였다. 기화기 내부에서 열전달 현상이 일어나는 구간은 코일 부분이기 때문에 이 부분에서의 열전달에 따른 액상 연료의 상변화를 관찰하기 위해 Fig. 2.의 장치를 제작하였다.

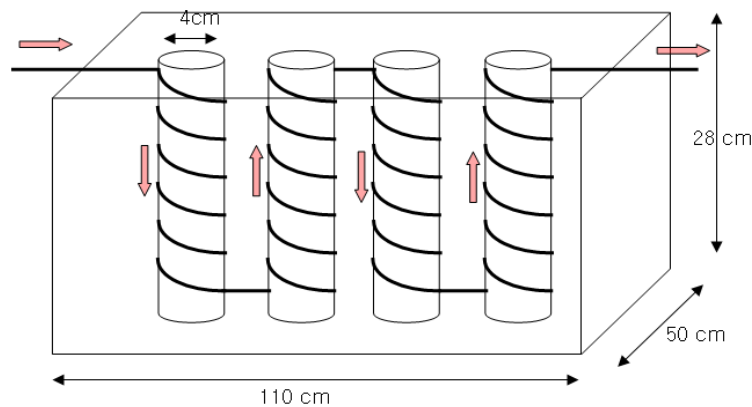


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental system.

주입부로 들어간 액상의 연료물질은 수조안의 데워진 물로부터 열량을 흡수하게 된다. 일반기화기에서는 하나의 코일 순환으로 기화를 이루지만, 본 실험에서는 보다 자세한 상변화의 관찰을 용이하게 하기 위해 금속의 코일을 투명한 호스로 대체하였으며, 기화기와 유사한 열전달 구간을 4번의 순환시스템으로 제작하였다.

1-2. 실험 방법

기본 조건 : ① 아세톤 일정 유량 공급
② 기화에 충분한 온도(70 ~ 90℃) 유지

연료의 주입온도 조건 : 0 ~ 40℃

위의 두 조건하에 정량펌프를 사용하여 ①, ②의 아세톤을 Fig. 2.의 (1)로 주입한다. 이 때, 액상 → 기상 → 액상, 기상의 공존 등 상변화를 관찰한다. 재액화를 규명하기 위해서 최종적으로 Fig. 2.의 (3)을 통해 나오는 연료의 액체연료의 양을 측정한다. 열전달 속도 차이를 규명하기 위해서 Fig. 2.의 (1)을 통해 연료를 주입한 후, 최초로 기화가 일어나는 지점을 표시하고 거리를 잰다. 또, LPG는 공비혼합물이기 때문에 순물질로 실험하였지만, 순물질이 아닌 분자량이 비슷한 아세톤과 에탄올을 공비혼합물의 조성으로 혼합하여 위의 연료 주입온도 조건하에서 같은 과정의 실험을 수행한다.

2. 2. 실험 결과

액유출이 연료주입온도에 따른 열전달 속도에 기인한다면, 코일의 말단부로 가정되는 최초 기화지점에서 0℃의 아세톤은 기화되어 나오지만 40℃의 아세톤은 기화되지 못하고 액상으로 코일을 통과하여 액유출의 원인이 될 수 있다. 재액화로 인해 액유출 현상이 기인한다면, 코일의 말단부로 가정되는 구간에서 40℃ 아세톤은 기화되었다가 다시 기 / 액공존의 상태로 배출되어 기화기 내의 액체의 양이 누적되는 현상을 보일 것이다.

결론 및 토론

본 아세톤의 열전달 실험은 구간에 따라 달라지는 아세톤의 상을 관찰하고, 이를 통해 주입온도에 기인하는 액유출의 원인을 분석할 것이다. 이 자료를 토대로 액유출과 기화기 효율과의 상관관계를 알아보고, 보다 실증적인 실험을 위해 간이 전열온수식 기화기를 제작하여, 본 실험과 동일한 과정의 실험을 수행할 것이다. 결론적으로 연료의 주입온도에 따라 달라질 수 있는 기화기의 성능을 보다 안정적이고 효율적으로 개선할 수 있는 방안을 제시할 것이다.

참고문헌

1. 최성준, 권정락, 원용준, 김 효, “전열온수식 LPG기화기 액유출 원인 및 총괄열전달계수 분석”, 한국가스안전공사 ; 서울시립대학교 화학공학과, 서울(2005)
2. 김화용, 여영구, 임경희 공역, 화학공학열역학, 7th Ed., McGraw-Hill Korea, 서울(2005)
3. 한국가스안전공사, 가스사고연감 1997-1999.
4. R. A. Smith., Vaporizers, 1st ed., Longman Scientific & Technical, 229-238(1986)