

직접접촉식 액화천연가스 기화기의 비등특성 연구

김남진* · 김종보

*인하대학교 대학원 기계공학과, 인하대학교 기계공학과

A Study on Boiling Characteristics of Direct Contact LNG Evaporator

Nam Jin Kim* and Chong Bo Kim

*Department of Mechanical Engineering, Inha Graduate School, Incheon, Korea
Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon, Korea

요 약

현재 사용하고 있는 액화천연가스 기화기는 관내부로 -162°C 의 액화천연가스가 흐르고, 관외부로 발전소 증기응축기 출구에서 배출된 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 의 해수를 흐르도록 하여, 두 유체사이의 온도차로 기화시키는 간접접촉방식 열교환기가 사용되고 있다. 그러나 간접접촉방식 열교환기는 두 유체사이의 큰 온도차로 인한 금속재료의 피로현상과 해수의 염분에 의한 재료의 부식 및 미생물 부착 등의 원인으로 열전달효율이 저하되고 있다. 따라서 본 연구는 관을 중간매체로 하는 직접접촉식 열교환기대신 액화천연가스와 기화용수인 물을 직접접촉시키는 방법을 이용하여, 위와 같은 문제점들을 근본적으로 해결하려 한다. 본 실험에서는 기화기내의 수위 500 mm와 물의 유량 10 l/min을 일정하게 고정시키고, 액화천연가스의 유량 0.12 l/min, 0.36 l/min, 0.6 l/min, 기화기내의 압력을 100 kPa, 300 kPa, 500 kPa로 변화시키면서 기화기내의 기포, 온도분포, 급팽창현상, 동결현상 및 기화후 수분함유량등의 비등특성을 규명하였다. 실험결과 기화기내의 압력이 증가할수록 기포는 작고 균일한 분포를 이루고, 폭발적인 급팽창현상은 일어나지 않았다. 또한 동결현상은 액화천연가스의 기화를 방지하지 못하였으며, 기화된 천연가스내의 수분함유량 몰%는 압력과 유량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다.

Abstract—Existing Liquefied Natural Gas evaporators use the indirect contact heat transfer mode where LNG of extremely low temperature of -162°C flows inside of tubes and $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ sea water flows on the outside of tubes. However these indirect contact heat exchangers provide a relatively low heat transfer efficiency and have many problems in their applications, such as, material fatigue in the tubes caused by high differential temperature between the two fluids, material corrosion, erosion by the chloride of sea water and micro-biologic attacking, etc. In order to solve these problems, direct contact heat exchanger is proposed as a new design concept direct contact heat exchanger does not have any structures within the column so that it is totally free from the problems of the conventional ones. It may also be expected to give very high heat transfer performance.

In the present investigation, in order to make sure of the feasibility for the direct contact LNG evaporator, experimentations have been carried out for the fluid dynamic characteristics such as bubbling, icing, sudden expansion phenomena and water content of the produced natural gases. Throughout the investigation, the water flow rate was fixed to be 10 l/min with water height 500 mm in the column. The LNG flow rates were 0.12 l/min, 0.36 l/min, 0.6 l/min and the pressures considered were 100 kPa, 300 kPa, and 500 kPa.

The results show that as the pressure increased, the bubbles becomes small and uniform throughout the column, and the frequency becomes high with less mole % of water contents in the produced gas. It is also observed that the increase of the LNG flow rates gives less mole % of water contents in the gas.

1. 서 론

우리나라는 에너지자원이 크게 부족하여 거의 전량을 수입에 의존하고 있다. 이중 석탄과 유류는 연소시 아황산가스등의 공해물질을 발생시키고, 원자력은 안전성 문제가 제기되고 있다. 반면에 천연가스는 무공해 에너지자원으로서 비교적 안전하기 때문에 그 수요가 증대하고 있으며, 사용분야도 다양해지고 있다^{1,2)}. 그러나, 천연가스는 -162°C 의 액체상태로 수입되므로 그것을 실수요자에게 공급하기 위해서는 가스상태로 기화시켜야만 한다. 공급가스로 만들기 위해서 현재 국내의 평택 액화천연가스 기지에서는 관내부로 -162°C 의 액화천연가스를 흐르게 하고, 관외부로는 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 의 해수를 흐르게 하는 간접접촉방식 열교환기를 사용하여 액화천연가스를 0°C 정도의 천연가스로 기화시켜 수요처로 공급하고 있다³⁾. 간접접촉식 열교환기는 금속관을 중간매체로 하여 액화천연가스를 기화시키므로 액화천연가스와 해수간의 온도차가 약 $180\sim 190^{\circ}\text{C}$ 가 되어 열용력에 의한 재질의 피로현상, 변형 및 해수를 사용하는 데에서 오는 염분에 의한 염화부식, 진흙에 의한 부식과 침식, 미생물 부착에 의한 부식등의 열전달 장애요인이 발생하고 그로 인한 운전정지등의 사고가 일어날 수 있다. 위와 같은 문제점들을 줄이기 위해서 스테인레스강과 같은 고급자재를 사용하게 되므로, 이에 따르는 초기 투자비 및 유지, 보수비용의 증가가 초래되고 있다⁴⁾. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위한 노력이 계속적으로 연구 개발되고 있으며, 그 일환으로 본 연구에서는 기존의 관을 중간매체로 하는 간접접촉방식 열교환기에서 직접접촉방식 열교환기로의 대체 가능성과 직접접촉시 발생될 수 있는 문제점을 연구, 관찰하고자 한다.

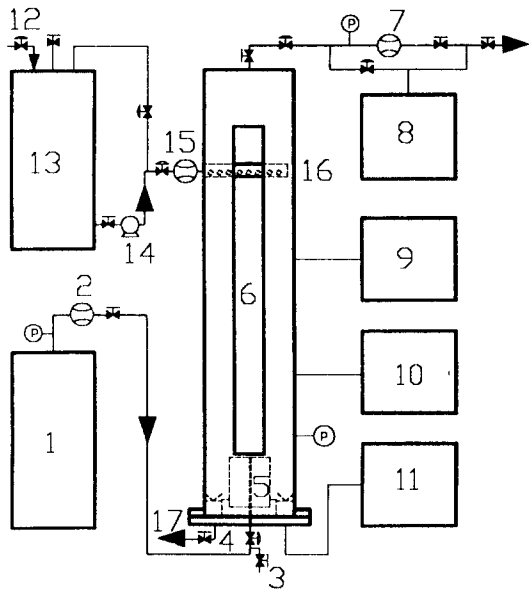
직접접촉식 열교환기는 1960년대에 탈염설비에 분사칼럼을 사용하여 오다가 1970~80년대에 침식이나 부식문제가 없고 열교환을 최대로 할 수 있는 장치의 개발 및 연구로서 직접접촉식 열교환기에 대한 관심이 높아졌다. Sideman⁵⁾ 등은 직접접촉식 열교환기내에서 펜탄의 초기 분사액적 크기가 작을수록 열교환기의 체적 열전달계수는 커지며, 분사식 기화기내에서 상향 분사되는 액적군의 유동율이 커지면 최적높이가 높아지고, 반대로 액적군의 유동율이 낮아지면 최적 높이가 낮아지는 최적높이와 확산상유동율에 관한 관계를 밝혔다. Letan⁶⁾ 등은 잘 혼합된 액적에서는 웨이크(Wake)의 형태로 대부분의 열이 전달됨을 밝히고, 연속상입구의 급격한 온도하강 현상은 기화기내에서 두유체가 완전히 혼합된 결과이며 두 상의 유동율의 영향을 받는다고 밝혔다. 즉 확산유체의 유동율이 증가하면 온도하강현상은 따라서 증가하게 되며 이들 물리적인 모델로부터 수

학적인 방정식을 유도하였다. Raina^{10,11)}는 2상기포의 표면위에 확산된 액체가 퍼져가는 현상에 점성전단의 영향을 도입하여 액-액 전열표면에 대한 이론적인 모델을 개발했으며, 섞이지 않는 다른 유체내에서의 액적이 완전 기화하기까지 소요되는 시간을 이론적으로 유도하였다. Jacobs & Golafshani^{12,13)}는 정상상태 1차원 다상 유동모델을 사용하여, 직경이 작은 구형 액적은 내부 순환이 없기 때문에 액적의 연속유체내의 열전달 형태는 전도에 의한 것임을 밝혔다.

기존의 액화천연가스 연구는 액화천연가스 수송선이 바다에서 파손되었을 때, 액화천연가스가 해수면에 쏟아지는 경우의 위험성에 대한 연구가 대부분이었다. 즉 수면에 쏟아진 액화천연가스에 의해서 바닷물이 얼고, 얼음이 깨지면서 공기중으로 얼음조각이 튀는 경우와 그때의 파열을 그리고 항구주위에 있는 설비에 영향을 주어 생기는 사고에 대한 것이 대부분이었다. 그래서 얼음이 생기고 깨지는 과정을 일반적으로 이럽션(Eruption)²⁾이라고 하였고 다음과 같은 실험을 행하였다. 미국 쉘·파이프라인사의 연구소에서 대규모 실험에 의해 조사한 결과에 의하면 메탄성분이 40% 이상이면 이럽션(Eruption)은 일어나지 않고, 또한 메탄성분이 40% 이하라도, 에탄과 프로판의 비가 3:1 이상으로 프로판이 증가하면 아무리 농축하여도 이럽션(Eruption)은 일어나지 않는다고 결론을 내렸다. 1956년 Conch International Methane Service Ltd.¹⁴⁾에서는 운하에 75 bbl./hr.을 투입하는 실험을 하여, 동결현상과 그것이 파괴될 때 일어나는 파괴음을 들을 수 있었다. 그러나 이럽션(Eruption)은 크지 않아 0.9 m~1.2 m 떨어진 유리를 깨지 못하였다. 또한 1965년 물이 담겨진 5 gal.의 수족관에 액화천연가스를 투입하는 실험¹⁵⁾을 하였는데 동결현상은 발생했지만 이럽션(Eruption)은 보고되어 있지 않았다. 유사한 실험으로, 7분동안 4,900 gal의 액화천연가스를 9~10 knots로 항해하는 배에서 바다로 투여하는 실험을 하였으나 동결현상이나 파괴음은 보고되지 않았다. Esso에 의해 8,000 gal.을 바다에 투여하는 실험에서도 결과는 같았다. 일본의 Yokyo Gas Co.(14)에서는 $0.4\text{ m} \times 0.4\text{ m}$ 와 $0.7\text{ m} \times 0.7\text{ m}$ 의 수족관에 1.2~2.4l의 액화천연가스를 투여하는 실험에서 물의 온도를 변수로하여 실험한 결과, 수온이 26°C 이상에서는 동결현상이 일어나지 않았고, 단지 막비등만이 일어났다. E. Nakanishi & R. C. Roid¹⁶⁾는 다음과 같은 여러가지 실험을 하였다. ① 지름 3~5 mm의 물방울을 CPG(Condensed Pipeline Gas)와 LN_2 에 떨어뜨렸다. CPG에서는 물방울이 밑바닥으로 가라앉은 다음 공모양의 얼음이 생겼고, 밀도가 더 큰 LN_2 에서는 얼음이 완전히 생길 때까지 떠다니다가 밑바닥으로 가라앉았다. ② 200 ml의 CPG, LMG, LEG,

LN₂에 200 ml, 5°C의 물을 쏟았다. 되풀이 된 실험에도 불구하고 왕성한 비등은 생기지만 이럽션(Eruption)은 발생하지 않았다. 위의 실험으로 냉각제와 물의 급속한 섞임이 이럽션(Eruption)을 일으키지 않는다는 것을 보였다. L.C. Witte 와 J.E. COX[15]는 액화천연가스가 물과 접촉할 때에 일어나는 액화천연가스 기화량, 잠열(Q_l), 에너지율(Q), 열량(q") 등을 구하였다.

본 실험의 경우는 액화천연가스를 물속에 분사시키는 것이므로 분사된 액화천연가스 방울주위는 물로 둘러싸여 있기 때문에 이럽션(Eruption)이 아니고, 단지 액화천연가스가 물과 접하면서 일어나는 급팽창(Sudden Expansion)현상이라 할 수 있다. 급팽창(Sudden Expansion)현상에 대한 연구는 김 과 한¹⁶⁾에 의해서 실시되었는데, 액화천연가스 유량을 0.001 l/sec~0.06 l/sec로 하여, 24.7°C의 물에 분사한 결과, 위험을 일으킬 정도의 급팽창(Sudden Expansion)현상은 일어나지 않았고 단지 동결현상만이 관찰되었다.



- | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1 LNG BOTTLE | 2 LNG FLOW METER | 3 NG VENT VALVE |
| 4 LNG SUPPLY CONTROL VALVE | 5 NOZZLE | 7 NG FLOW METER |
| 6 DIRECT CONTACT LNG EVAPORATOR | 8 GAS CHROMATOGRAPHY | 9 DATA LOGGER |
| 10 PRESSURE MEASUREMENT | 11 A.C ELECTRIC SOURCE | |
| 12 WATER SUPPLY VALVE | 13 WATER STORAGE TANK | |
| 14 W.S PUMP | 15 WATER FLOW METER | |
| 16 WATER SPRAY | 17 COOLED WATER DRAIN VALVE | |

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Jordan과 Williams¹⁸⁾에 의하면 천연가스 화염영역내의 수분은 수소원자의 재결합을 촉진시켜 열을 더욱 빨리 방출시키고, 실제 화염의 성질에는 큰 영향을 주지 못한다고 하였으며, 천연가스내에 수분이 0.57~0.76 mole%가 함유되어도 연소에 심각한 문제가 발생하지 않는다고 하였다. 그러나 수분이 함유된 천연가스를 수송할 때는 수송관을 부식시키는 문제가 발생할 수 있다. 이 경우 Lerner와 Samuel^{19,20)} 등에 의하면 수분제거기를 사용하여 천연가스내의 수분은 99%까지 제거할 수 있다고 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

Fig. 1은 실험장치의 개략도이다. 액화천연가스 탱크와 기화기사이의 관은 지름이 10 mm인 스테인레스강으로 제작하고, 단열을 위해서 지름 200 mm의 플라스틱파이프속에 폼을 싸아 만들었다. 기화기(6)내에 물을 넣기전에 액화천연가스 탱크(1)의 액체출구밸브를 열고, 이미 기화가 되어있는 가스는 밸브 3을 통하여 밖으로 배출시킨다. 액화천연가스 유량조절밸브(4)를 열고 순수 액화천연가스가 기화기내로 분사되는 것을 확인한 후 물이 노즐구멍으로 역류하는 것을 방지하기 위해서 액화천연가스 유량조절밸브(4)를 약간 열어 놓는다. 물탱크(13)에서 펌프(14)를 이용하여 열전달 효과를 높이기 위해서 스프레이 방식으로 기화기내에 물을 공급하였다. 기화기 출구로 물이 역류하는 것을 방지하도록 수위는 500 mm로 정하였고, 또한 물의 유량은 동결현상을 줄이기 위해서 본 실험장치에서의 최대 유량인 10 l/min으로 하였다. 그리고 압력을 조절하기 위해서는 기화기출구를 막고 액화천연가스 유량조절밸브(4)를 열어 액화천연가스를 기화기내로 분사시켜 기화된 천연가스로 압력을 조절하였다. 본 실험에서는 기화용수인 물의 유량을 10 l/min, 기화기내의 압력 100 kPa, 300 kPa, 500 kPa, 수위를 500 mm, 액화천연가스의 유량을 0.12 l/min, 0.36 l/min, 0.6 l/min으로 각각의 실험조건과 일치될 때까지 밸브들을 조절하여 정상상태가 된 후 기화기내에 설치한 구리열전대(T-type)로 온도를 측정하여 온도기록계(10)에 기록하였다. 또 각 유량과 압력에 대해서 기화기내에 일어나는 압력변동을 압력변환기(Pressure Transducer)를 사용하여 초당 7회로 읽어 컴퓨터에 기록하였다. 기화된 가스는 가스 유량계(7)를 지나 밖으로 배출시켰고, 기화후의 천연가스내 수분함량을 측정하기 위해서 가스분석기(8)를 사용하였다. 그리고 액화천연가스와 열교환이 끝나고 저온이된 물은 기화기하단에 설치한 밸브(17)를 통해서 밖으로 흐르게 하였다. 또한 두 유체간의 큰 온도차로

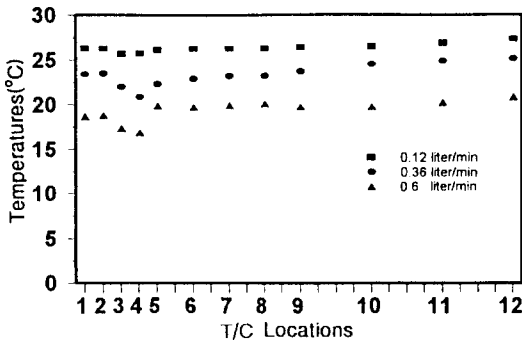


Fig. 5. Temperature distributions with LNG flow rates at 100 kPa.

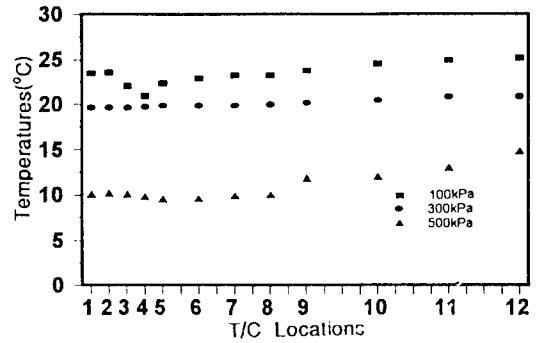


Fig. 8. Temperature distributions at LNG flow rate of 0.12 l/min.

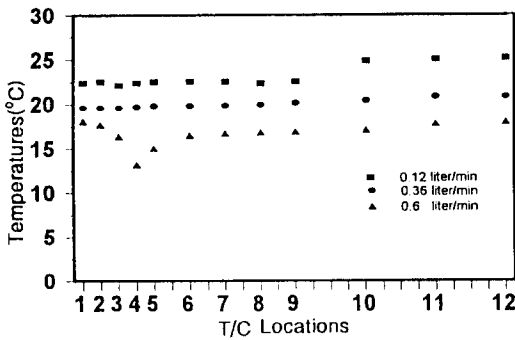


Fig. 6. Temperature distributions with LNG flow rates at 300 kPa.

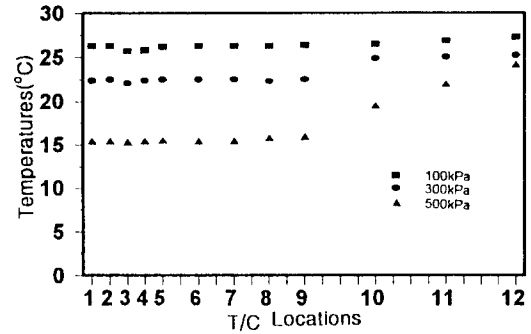


Fig. 9. Temperature distributions at LNG flow rate of 0.36 l/min.

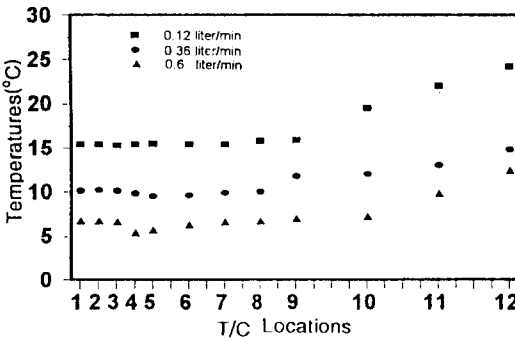


Fig. 7. Temperature distributions with LNG flow rates at 500 kPa.

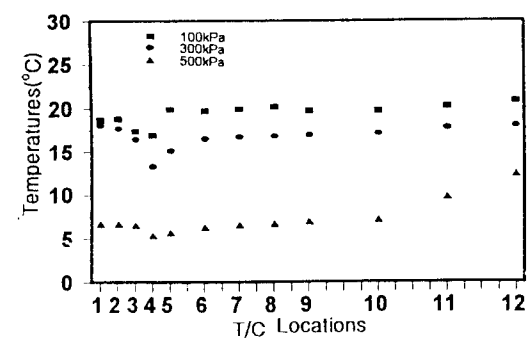


Fig. 10. Temperature distributions at LNG flow rate of 0.60 l/min.

3-2. 기화기내의 온도분포

Fig. 5, 6, 7은 각각의 압력에 대하여 유량을 증가시킬 때 기화기내의 온도분포를 나타낸 것이다. X축 온도 1, 2번은 열전달이 끝나고 밖으로 배출되는 기화용수의 온도를 측정하는 것이다. 3번은 액화천연가스 출구중앙에서 수평방향으로 50 mm 떨어진 부분의 온도이고, 4번은

액화천연가스 출구중앙에서 수직으로 50 mm 떨어진 부분의 온도이다. 8 또는 9번의 온도는 기화용수와 천연가스의 경계에서 측정된 온도를 나타내고, 11은 기화기 밖으로 배출되는 천연가스의 온도이다.

Fig. 5는 압력 100 kPa에서 유량이 많을수록 노즐출구 부근에서 온도가 낮고 기화기를 따라 상승하면서 온도

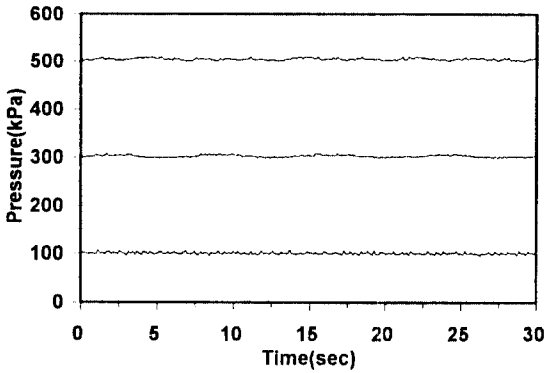


Fig. 11. Pressure fluctuations for LNG flow rate of 0.12 l/min.

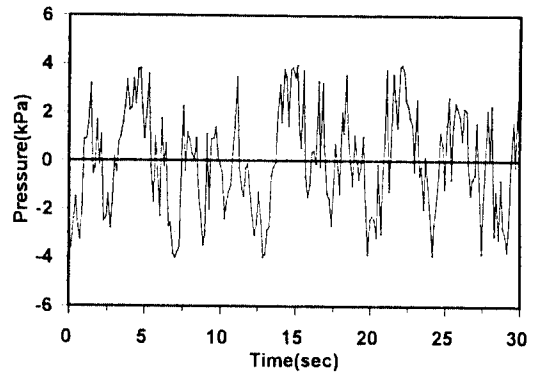


Fig. 14. Pressure fluctuations for LNG flow rate of 0.12 l/min at 500 kPa.

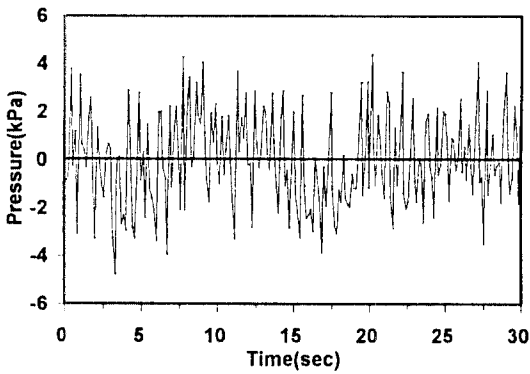


Fig. 12. Pressure fluctuations for LNG flow rate of 0.12 l/min at 100 kPa

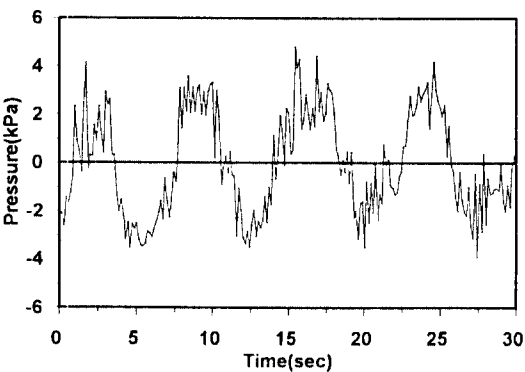


Fig. 13. Pressure fluctuations for LNG flow rate of 0.12 l/min at 300 kPa.

가 증가한다. 노즐출구에서 부터 상당한 양의 열교환이 이루어지고 있고, 그 이외의 기화기내에서는 큰 온도변화는 없었으며 수면 바로 윗부분부터는 상대적으로 급

격한 온도변화로 보아 열교환이 상당히 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. 액화천연가스유량이 증가할수록 전체온도는 낮게 나타나고 있으며, 특히 노즐출구부근에서 낮은 온도를 보인다. 이것은 액화천연가스가 분사되는 즉시 급격한 열교환이 이루어 지는 것으로 보인다.

Fig. 6에서 특히 액화천연가스유량이 0.6 l/min일때 노즐출구 부근에서 급격한 온도변화를 나타내고 있으며 온도상승은 액화천연가스유량이 작을때 수면위에서 비교적 큰 온도 상승을 보인다.

Fig. 7은 기화기내 압력이 500 kPa로서 수면위에서 급격한 온도변화를 보이는데 이것은 물과 천연가스가 잘 혼합되어 열교환이 활발한 것으로 보인다. 특히 고압에서는 더욱 이러한 수면 윗부분이 중요한 것으로 사료된다.

Fig. 8, 9, 10은 일정한 유량에 대하여 압력을 변화시켰을 때 기화기내 온도분포를 보인다. Fig. 8, 9, 10 모두 동일하게 압력이 높을수록 낮은 온도분포를 보여주고 있다. 압력이 높을수록 낮은 온도분포를 나타내는 주요 원인은 실험조건내 각각의 압력을 액화천연가스 기화기내로 분사되어 기화된 천연가스로 조절하기 때문이다. 기화용수의 온도는 내려가 있는 상태에서 액화천연가스를 분사하므로 압력이 증가하면 그만큼 압력을 높이는 시간이 많이 걸리게 된다. 또 온도가 내려간 기화용수를 충분히 제거해주지 못한 상태에서 액화천연가스를 기화기내로 유입시키므로 전체적으로 압력이 높으면 온도가 내려가는 것으로 해석된다.

3-3. 급팽창(Sudden Expansion)현상

극저온인 -162°C의 액화천연가스와 상온의 기화용수가 접하여 액화천연가스를 기화시킬 때 약 190°C의 온도차가 두 유체사이에 발생한다. 액화천연가스가 기화기 내에서 기화할 때 부피증가로 인하여 급팽창하게 된



Fig. 15. Icing phenomena on the injection nozzle.

다. 이러한 급팽창현상을 관찰하기 위해서 기화기에 압력변환기(Pressure Transducer)를 설치하여 압력변동을 관찰하였고, 그 결과를 Fig. 11, 12, 13, 14에 나타내었다. 실험조건이 모두 갖추어지면 액화천연가스를 기화기내로 분사시키는데 액화천연가스 유량조절밸브를 여는 순간에는 기화용수속에서 팽창하는 액화천연가스때문에 기화기가 상당히 흔들리는 현상이 발생한다. 그러나 일정한 시간이 흐르면 곧 안정한 상태로 돌아오는데 그때를 기준으로 하여 결과를 얻었다.

Fig. 11에서 보면 위험한 급팽창현상이 일어났다고 볼 수 있는 급격한 압력변동은 관찰되지 않았으나, 액화천연가스유량 0.12 l/min시 100 kPa에서 15~20초(Fig. 12), 300 kPa에서 5~8초(Fig. 13), 500 kPa에서는 2~5초(Fig. 14)라는 주기성으로 크게 압력이 변화였다. 이것은 기화기내에서 액화천연가스가 압축과 팽창을 반복하면서 기화하기 때문이고, 주기가 평균 7초정도이므로 급팽창에 의한 위험은 없으리라 생각된다. 또한 압력이 높을수록 최대최소 압력변위가 작아지는 것을 알 수 있다. 이것으로부터 기화기내의 압력으로 급팽창을 조절할 수 있다고 하겠다.

3-4. 동결현상

동결현상을 방지하기 위해서 여러가지 방법을 고려했었는데, 첫째로 전열기를 설치하는 것이고, 둘째는 기화용수인 물을 다량으로 유입, 열교환이 끝나고 저온이될 물을 빨리 밖으로 배출할 수 있도록 하였는데 실험장치에서 사용할 수 있는 최대유량인 10 l/min으로 하였다. 마지막 셋째로, 노즐상단에서 차가워진 물이 고이지 않

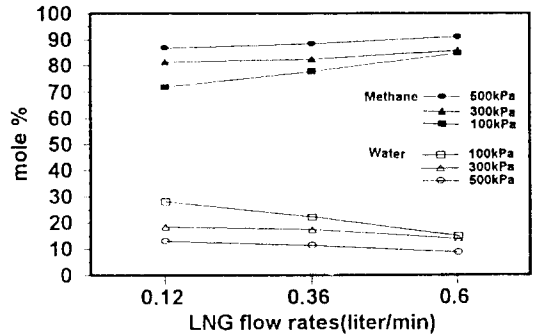


Fig. 16. Mole % of methane & water for LNG flow rates.

고 원활히 흐르도록 둥근 반구형으로 가공을 하였다. 이러한 실험조건하에서 동결현상을 관찰한 결과, 첫번째 실험에서 물의 유량 10 l/min, 수온 30.5°C라는 조건으로 전열기를 사용하지 않고, 압력과 유량을 변화시켰는데, 동결현상은 전혀 보이지 않았다. 두번째 실험에서는 물의 유량 10 l/min, 수온 28.4°C이고, 전열기는 작동시키지 않았다. 액화천연가스 유량 0.6 l/min에서 간헐적인 동결현상이 보였으나 얼음의 형태가 얇은 관과 같았고, 동결과 동시에 깨어지는 현상을 반복하였다(Fig. 15). 그리고 깨어진 얼음조각이 기화기내부를 유동하는 현상도 관찰할 수 있었으나 얼음조각은 짧은시간내에 없어지고 말았다. 그러므로 동결현상이 액화천연가스를 기화시키는데에는 문제점이 되지 못했다.

동결현상을 방지하기 위하여 노즐모양의 변화, 수온 변화, 전열기설치등의 방법이나, 태양열을 이용하여 중저온의 물을 기화기의 열원으로 사용한다면 열교환율을 높이고 동결현상을 방지할 수 있을 것으로 예측된다.

3-5. 기화후 천연가스내의 수분함유량

기화후 천연가스내의 수분함유량을 결정짓는 중요한 인자로는 기화기내의 기화용수 높이와 압력 그리고 액화천연가스유량이다. 처음에는 압력과 액화천연가스유량은 실험조건과 동일하게 놓고, 높이를 900 mm와 700 mm로 두번의 예비실험을 행하였다. 그 결과 기화용수가 기화기상단의 천연가스출구로 역류하는 현상이 계속 나타났다. 그래서 기화용수 높이를 500 mm로 정하였고 다음과 같은 결과를 얻었다. 본 실험에서 물%는 수분과 메탄만을 100으로 놓고 측정된 결과이므로 절대값이 아니고 상대값이다.

Fig. 16은 동일 압력에서 유량을 변화시켰을 때, 기화후 천연가스내 수분함유량의 경향을 나타낸 그림이다. 액화천연가스의 유량이 증가할수록 메탄과 수분의 절대량은 함께 증가하지만 메탄의 증가량이 수분의 증가량

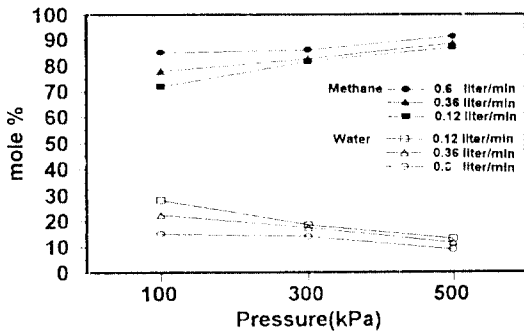


Fig. 17. Pressure effects for mole % of methane & water.

보다 상대적으로 크기 때문에 메탄의 몰%는 증가하고, 수분함유량 몰%는 감소하는 경향을 보이고 있다. 즉 동일한 압력에서는 액화천연가스의 유량을 증가시키는 것이 수분함유량 몰%를 감소시킬 수 있는 방법이다.

Fig. 17은 일정한 액화천연가스유량에 대하여 압력이 증가할 경우, 기화후 천연가스내 수분함유량의 경향이다. 압력이 증가할수록 메탄의 몰%는 증가하고, 수분함유량 몰%는 감소하는 것을 볼 수 있다. 즉 기화기내 압력을 높여주는 것이 수분함유량 몰%를 감소시키고 메탄의 몰%를 증가시킬 수 있는 방법이라 할 수 있다.

4. 결 론

물을 기화열원으로 한 직접접촉식 기화기를 이용하고, 기화용수 높이 500 mm, 기화기내의 압력변화 100 Kpa, 300 Kpa, 500 kPa, 그리고 액화천연가스 유량을 0.12 l/min, 0.36 l/min, 0.6 l/min으로 변화시켜 가며 액화천연가스를 기화시킬 때 나타나는 영향들에 대한 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기포의 유동특성을 살펴보면 기화기내 압력이 커질수록 기화기내의 기포는 작고 균일한 분포를 이루어 열전달면적의 증가를 이루었다.

2) 동일한 기화용수의 유량에서 액화천연가스 유량이 증가하거나, 압력이 높아지면 기화기내에서 전체적으로 낮은 온도분포를 보였다.

3) 사용된 실험조건하에서는 파괴적인 급팽창현상은 나타나지 않았으며, 압력에 따라 압력변동의 주기성이 나타났고, 또한 압력이 증가할수록 최대최소 압력변위는 작아지는 것을 볼 수 있었으며, 이는 기화기내의 압력으로 급팽창현상을 조절할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 액화천연가스의 유량이 증가하면 분사노즐 출구주위에서 동결현상이 나타났으나, 노즐주위의 국부가열, 노즐표면처리, 노즐모양변화등으로 해결될 수 있는 문

제를 밝힐 수 있었다.

5) 기화후 천연가스내의 수분함유량을 분석한 결과, 액화천연가스의 유량이 증가할수록, 또는 기화기내 압력이 증가할수록 메탄의 몰%는 증가하고, 수분함유량 몰%는 감소되는 경향을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Korea Gas Corporation Ltd.; "Description of the PYONG-TAEK LNG Unloading Plant", 5-7, 13-65 (1985).
2. Korea Gas Corporation Ltd.; "Handbook of LNG", 73-80, 130-135, 630-645 (1985).
3. Boehm, R.F., and Kreith, F.; "Direct Contact Processes Promise High Performance, Low Cost", ASME, **108**(3), 78-81 (1986).
4. Sideman, S., Hirsch, G., and Gat, Y.; "Direct Contact Heat Transfer with Change of Phase", AIChE, **11**, 1081-1087 (1965).
5. Sideman, S., and Gat, Y.; "Direct Contact Heat Transfer with Change of Phase", AIChE, **12**(2), 296-303 (1966).
6. Sideman, S., and Barsky, Z.; "Turbulence Effect on Direct-Contact Heat Transfer with Change of Phase", AIChE, **11**(3), 539-545 (1965).
7. Letan, R., and Kehat, E.; "Mixing Effect in a Spray-Column Heat Exchanger", AIChE, **11**(5), 804-808 (1965).
8. Letan, R., and Kehat, E.; "The mechanics of a Spray-Column", AIChE, **13**(3), 443-449 (1967).
9. Letan, R., and Kehat E.; "The Mechanism of Heat Transfer in a Spray-Column Heat Exchanger" AIChE, **14**(3), 398-405 (1968).
10. Raina, G.K., and Wanchoo, R.K.; "Direct Contact Heat Transfer with Phase Change Bubble Growth and Collapse", The Canadian Journal of Chemical Engineering, **64**, 39-98 (1986).
11. Raina, G.K., and Grover, P.D.; "Direct Contact Heat Transfer with Change of phase: Theory Model" AIChE, **28**(3), 515-517 (1982).
12. Golafshani, M., and Jacobs, H.R.; "Stability of a Direct-Contact Spray Column Heat Exchanger", Journal of Heat Transfer, **3**, 767-772 (1989).
13. Jacobs, H.R., and Golafshani, M.; "A Heuristic Evaluation of the Governing Mode of Heat Transfer in a Liquid-Liquid Spray Column", Journal of Heat Transfer, **3**, 773-779 (1989).
14. Nakanishi, E., and Roid, R.C.; "Liquid Natural Gas-Water Reaction", Chemical Engineering Progress,

- 67(12), 36-41 (1971).
15. L.C. Witte, and J.E. Cox.: "Nonchemical Explosive Interaction of LNG and Water", ASME Winter Annual Meeting, 1-8 (1972).
 16. Chong-Bo, Kim., and Seung-Tak, Han.: "Heat Transfer and Flow Characteristics of the Direct Contact LNG Evaporator", Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, **1**, 3-10 (1993).
 17. Jordan, J.B., Littler, A.N., and Williams, A.: "The Effect of Water Addition on Combustion Processes in Natural Gas Flames", Journal of the Institute of Energy, 222-224, December (1986).
 18. Lerner, B.J., and Samuel, G.W.: "High Tech Mist Elimination in Multi Stage Evaporator, Plant & Operation Progress", **5**(1), 52-56 (1986).
 19. Peter, V.B., Jim, H. and Joel, P.: "Moisture Separation and Cycle Efficiency Improvements by Installing Moisture Preseparations", ASME, 84-JPGC-PWR-30, 1-6 (1984).
 20. Lang, H. and Sonnenmoser, H.: "Moisture Separator Reheater for Saturated Steam Turbines", BBC Review, **63**, 66-75 (1976).