

LNG 냉열을 이용한 공기 액화의 특성 연구

박동훈⁺, 윤상국⁺⁺

Study of the air liquefaction system using the LNG cold energy

Dong-Hoon Park⁺, Sang-kook Yun⁺⁺

Abstract : LNG is extremely cold, -160°C in its liquid state. When it vaporizes, returning to its natural state (re-vaporization), it cools its surroundings. This is cold energy. The manufacturing of liquid air is the first processes developed as the most effective utilization of LNG cold. In this paper, adopting the LNG cold process for manufacturing liquid air was developed and analysed. The result showed that as the higher air pressure and adapting nitrogen precooling, liquefaction rate and cumulative mass was increased.

Key words : Cumulative mass(누적체적) Liquefaction rate(액화량), LNG[liquefied natural gas](액화천연가스), Re-vaporization(기화), Surrounding(주위),

1. 서론

최근 전자, 철강, 금속재료, 의료, 식품냉동 및 우주산업 등 산업전반에 다량의 가스가 사용되면서 공기분리장치산업은 급속한 양적팽창과 그에 따른 에너지 절감 차원에서 효율적인 공정개발이 이루어져 왔다.

본 연구는 LNG 냉열을 이용한 공기액화분리의 냉열이용 핵심 기술에 대한 실험적 검증을 통하여 냉열 이용기술의 국산화와 응용력 확보가 가능하도록 하고자 하는 것이다. 이 공정은 현 공기액화공정과는 달리 LNG냉열에 의한 냉각공정을 갖추게 되므로 기존의 공정과 열교환 공정의 차이를 분석하였다.

현재 일본, 미국 등 선진국에서 활용하고 있는 LNG의 냉열을 이용한 공기액화에 대한 연구를 수행하기 위해 소형 공기액화시스템을 구축하였다. 설계의 기본은 Linde가 개발한 Precooled Linde-Hampson system을 이용하였으며, 0.1~0.4 MPa의 압력에서 예냉온도 15°C, -30°C, -60°C를 이용하여 공기액화의 특성을 살펴보았다.

2. 개발 시스템 및 실험방법

2.1 개발시스템

본 연구에서는 시간당 2L 용량의 공기액화 용기를 제작하여 기체공기를 액화할 수 있는 시스템을 제작하였다. 시스템은 크게 공기압축기, LN₂열교환기, GM냉동기, 공기액화용기로 구성되어 있으며, 시스템의 실험장치도는 Fig. 1에 나타내었다.

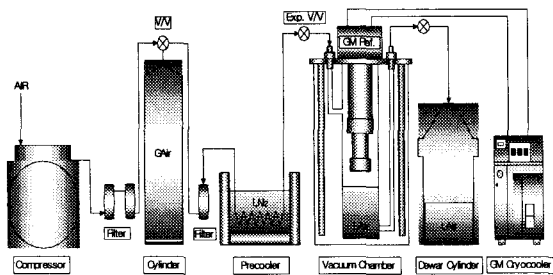


Fig. 1 The schematic diagram of the air liquefaction system

2.2 실험방법

고압의 공기 압축기를 이용하여 35bar의 압력까지 실린더에 압축공기를 채운 후 고밀도 필터(0.01 micron)를 통하여 수분과 먼지 그리고 탄산가스를 제거한다. 약 5분 동안 전체 시스템에 퍼지 작업을 실시한 후 진공챔버의 진공펌프를 가동하여 10⁻⁶ torr의 고진공을 형성한 후 정제된 고압 공기를 액화용기에 주입하고 GM 냉동기를 가동하여 실험을 수행한다.

실험은 0.1~0.4MPa일 때의 압력과 LN₂열교환기를 거친 공기의 온도를 15°C, -30°C, -60°C로 조정하여 반복적으로 실험을 수행한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 GM 냉동기 무부하 특성 실험

본격적인 공기액화 실험에 앞서 GM 냉동기의 성능을 측정하기 위해 대기온도에서 무부하 냉각성능 실험을 수행하였다. 액화용기를 고 진공으로 단열한 후 GM 냉동기 가동시간에 따른 온도변화를 측정하였고 그 결과 Fig. 2에 나타내었다.

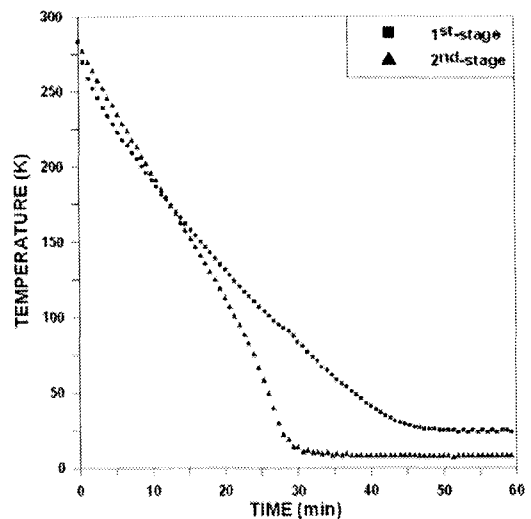


Fig. 2 Cool down curve of GM cryocooler without load

+ 박동훈(한국해양대학교 냉동공조공학과), E-mail: p-d-h-s@hanmail.net Tel: 051)410-4975

++ 윤상국(한국해양대학교 기계정보공학부 주임교수), E-mail: rel@mail.hhu.ac.kr Tel: 051)410-4363

GM 냉동기의 특성상 1단이 30분 뒤 24K, 2단이 45분 뒤 7K 까지 도달하였다. 이를 냉동기 제조사에서 제공한 성능표와 비교한 결과 그 성능이 우수함을 알 수 있었다. 이를 통해 본 시스템의 단열설계와 액화용기의 설계 및 제작이 적절하게 이루어짐을 알 수 있었다.

3.2 각 압력에 따른 액화량 변화

0.1MPa ~ 0.4MPa에서 시간에 따라 액화되는 공기의 액화량에 대한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 공기가 액화되기 시작하는 40~50분을 기준으로 유량의 현격한 차이를 보인다. 실험 초기 용기 내 주입되는 공기의 압력이 높을수록 유량은 증가하며 액화소요 시간은 압력이 증가할수록 감소한다. 이를 통해 압력이 높을수록 액화소요 시간은 감소하며 액화량은 증가함을 알 수 있다. 이는 압력이 높을수록 공기의 포화온도 상승과 액화잠열의 감소, 액화용기 내 상변화에 따른 공기의 밀도증가 등으로 인해 자연대류에 의한 냉각효과가 증가되었기 때문으로 보인다.

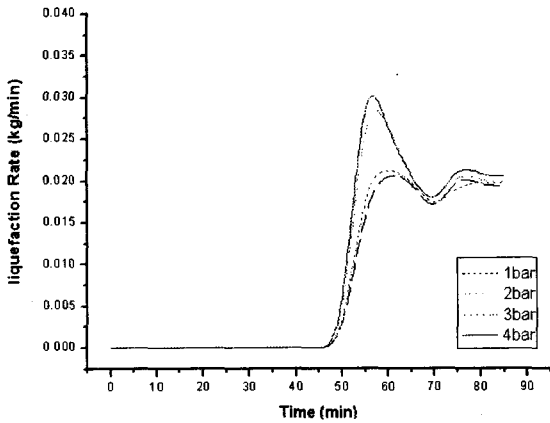


Fig. 3 The liquefaction rate with time for variation pressure

3.3 예냉온도에 따른 액화량 변화

Fig. 4는 압력과 예냉온도에 따른 평균액화량을 나타낸다. 0.1MPa ~ 0.4MPa에서 15°C 기준 -30°C의 경우 액화량은 평균 0.9g/min 증가를 나타내었고, -60°C의 경우 평균 1.89g/min 증가를 나타내었다. Fig. 5는 압력과 예냉온도에 따른 최종 체적량을 나타내는 것이다. 내부 액화용기의 온도

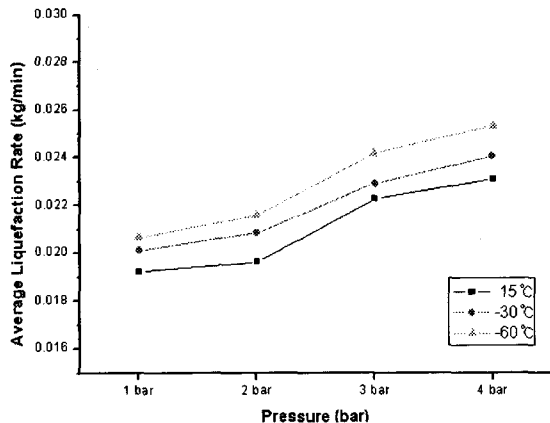


Fig. 4 Precooling effectiveness of the average liquefaction rate for various pressure

가 예냉으로 인해 차이가 나기 때문에 액화 시작 시점이 달라짐으로써 체적량은 액화유량과 달리 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

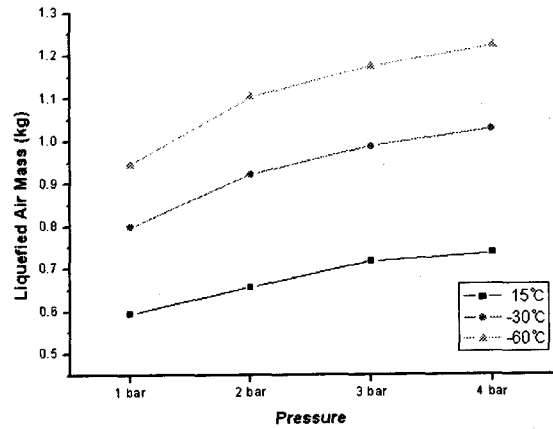


Fig. 5 The last liquefied air mass to 85 minutes for various pressure and precooling effectiveness

공기액화시 예냉으로 인한 초기 온도부하의 감소와 액화 시작 후 냉동기 부하의 감소로 인해 액화량은 평균 1.07배 증가하였으며 체적증가량은 평균 1.65배로 나타남으로써 전체적인 액화량의 증가를 가져왔다.

4. 결론

LNG 냉열을 이용하여 공기액화분리의 특성을 연구하였다. 냉열이용 핵심 기술에 대한 실험적 검증을 통하여 액체질소 예냉이 평균 약 1.65배 증가함을 알 수 있었다.

실제 공기액화 분리에 LNG 냉열 이용 열교환 기술을 갖추어 공급되는량을 생산하는 시간이 85분이라면 약 15분의 절감 효과를 가져 올 수 있음을 알 수 있었다.

앞으로 열교환기의 효율 향상과 -100°C, -120°C의 예냉효과에 대한 검증을 거친다면 냉열 이용기술의 국산화와 응용력 확보가 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] M. Ueda, "Manufacture of Liquid Oxygen Using LNG Coldness", Chemical Economy & Engineering Review, Dec. 1970, PP.9-14
- [2] J.G. Witwer, et. al, "Energy Conservation with LNG Cold", CEP, Vol.72, No.1, Jan.1979 PP.50-55
- [3] R.H. Perry, Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th ed., Section 12, 1984, PP.47-58
- [4] A.L. Prentice & R.M. Thorogood, "The Effect of Oxygen and Nitrogen Product Ratio on Air Separation Plant Design", Proc. Cryotech. 73, Brighton, 1973, PP.20-25
- [5] 이정환, 이호섭, 조원일, 백영순, 2004, "수소액화장치의 단열시스템 전산해석 및 액화성능 실험에 관한 연구", 공업화학회, Vol. 15, PP.659-664