

프로판 냉매를 활용한 단일 및 단당 냉동 사이의 비교연구

조두희·조정호
공주대학교 화학공학부

A comparative study between single- and multi-stage refrigeration utilizing propane refrigerant

Duhee Cho·Jungho Cho
Kongju National University

1. 서 론

본 연구에서는 천연가스의 온도를 -40°C 까지 냉각시키기 위해서 프로판을 냉매로 사용하여 1단 압축 및 2단, 3단, 4단 압축을 이용한 냉동 사이의 비교 연구를 수행하였다. 전산모사를 하기 위해 사용한 원료 조성은 한국가스공사로부터 제공받은 것을 적용하였으며, 열역학 모델식으로는 Peng-Robinson 상태방정식을 적용하였다. 냉동 사이클의 전산모사를 위해서 Invensys사의 PRO/II with PROVISION 9.1을 활용하였다. 본 연구에서로부터 단일 냉동사이클부터 4단까지 압축 냉동 사이클을 최적화한 결과 1단 압축공정에서 4단 압축 공정으로 증가 할수록 응축기의 Heat duty는 점점 줄었고 1단 압축과 4단 압축과의 응축기의 Heat duty차이는 1.6135×10^6 Kcal/hr 로써 14.8% 정도 감소함을 알 수 있었다. 또한 압축기의 총 소요 동력은 789.06 kW로써 4단 압축의 경우 1단 압축보다 압축기의 소요 동력이 차이가 33.83%가 감소하였고 냉매의 총 순환 유량은 13,141.73 Kg/hr이 13.2%가 감소함을 확인 할 수 있었다.

2. 이 론

탄화수소 계열의 기액 상평형 추산은 일반적으로 상태방정식 모델식을 적용한다. 적용할 상태방정식으로는 Peng-Robinson 상태방정식을 적용하였는데 이는 다음의 식 (1)와 같이 쓸 수 있다[3].

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a\alpha}{v(v+b)-b(v-b)} \quad (1)$$

위의 식 (1)에서 a 와 b 는 각각 energy parameter와 size parameter로써 각각 임계온도와 임계압력의 함수로써 식 (2)과 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a = 0.45723 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (2)$$

$$b = 0.07780 \frac{RT_c}{P_c} \quad (3)$$

한편 식 (2)에서 α 는 alpha function으로써 순수성분의 온도에 따른 증기압을 잘 추산하기 위해서 각 성분의 편심인자의 함수인데 원식은 다음의 식 (4)과 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\alpha = [1 + m(1 - \sqrt{T_r})]^2 \quad (4)$$

$$m = 0.37464 + 1.54336\omega - 0.26992\omega^2 \quad (5)$$

그런데 위의 식 (5)의 단점을 보완하기 위해서 이제는 각각의 순수성분의 온도에 따른 증기압 실험 데이터를 성분 각각에 대해서 회귀분석을 통해서 결정하는데 새로운 alpha function을 사용하였다[4]. 이는 식 (6)에 나타내었다. 한편 표 1에는 본 연구에서 사용된 냉매인 프로판에 대해서 alpha function 앞의 계수인 C_1 , C_2 와 C_3 를 나타내었다.

$$\alpha = T_r^{C_3(C_2-1)} \exp[C_1(1 - T_r^{C_2 C_3})] \quad (6)$$

[표 1] 냉매 성분에 대한 Alpha function 에 대한 계수들

Component	C_1	C_2	C_3
Nitrogen	0.57642	0.90934	0.67650
Methane	0.11949	0.90402	-
Ethane	0.20910	0.86806	1.6875
Ethylene	0.13788	0.86566	-
Propane	0.21530	0.84978	1.8108

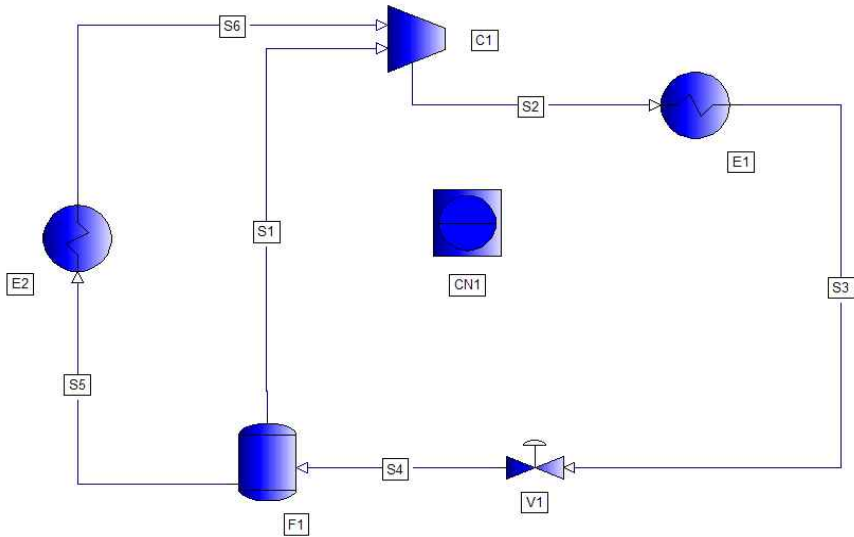
3. 공정모사

냉동 사이클에 대한 전산모사를 위해서 천연가스의 조성과 유량 및 열적 상태에 대해서 표 2에 나타내었다. 단일 및 2단, 3단, 4단까지 냉동사이클을 공정모사 하였다.

[표 2] 천연가스의 조성과 유량 공급온도 및 압력

Component	Mole%
Methane	91.19
Ethane	1.89
Propane	0.29
I-butane	0.13
N-butane	0.12
I-pentane	0.07
N-pentane	0.05
N-hexane	0.04
N-heptane	0.24
Temperature (°C)	45
Pressure (bar)	60
Flow (kg/hr)	625,000

[그림 1] 단일 냉동사이클의 공정 개요도



4. 결론

본 연구에서는 천연가스를 45℃에서 -37℃까지 냉각시키기 위한 프로판 냉동사이클 최적화 하는 연구를 수행하였다. 수행 방법은 증기 재압축하는 방식으로 1단에서 4단까지의 공정을 모델링 하였으며 각 단계에 대한 에너지 효율을 비교하였다. 그 결과 1단 압축공정에서 4단 압축 공정으로 증가 할수록 응축기의 Heat duty는 점점 줄었고 1단 압축과 4단 압축과의 응축기의 Heat duty차이는 1.6135×10^6 Kcal/hr 로써 14.8% 정도 감소함을 알 수 있었다. 1단 압축을 이용한 냉동 사이클의 경우에 압축기의 소요 동력이 2,669.97 kW인데 비하여 4단 압축을 이용한 냉동 사이클의 경우에 압축기의 총 소요 동력은 789.06 kW로써 4단 압축의 경우 1단 압축보다 압축기의 소요 동력이 차이가 33.83%가 감소함을 알 수 있었다. 1단 압축을 이용한 냉동 사이클의 경우에 냉매의 총 순환유량은 5,4121.08 Kg/hr인데 비하여 4단 압축의 경우 냉매의 총 순환유량은 4,0979.35 Kg/hr로써 1단 압축을 이용한 냉동사이클의 경우보다 4단 압축을 이용한 냉동사이클의 경우 냉매의 총 순환 유량은 13,141.73 Kg/hr이 13.2%가 감소하였다.