

# Core Exchanger 주변 열교환기들의 효율적인 에너지 관리를 위한 열 교환망 합성에 관한 연구

조석연 · 서경원

아주대학교 공과대학 화학공학과

## 요 약

본 연구에서는 정유공정의 한 부분인 demethanizer의 core exchanger 주위 열교환기들에 대해 핀치설계법(pinch design method)을 이용하여 새로운 열교환망 합성을 수행하였다. 이로부터 초기에 설정했던 최소접근온도차가 총비용 즉, 장치비와 에너지 비용에 결정적인 역할을 하는 것으로 확인되었다.

따라서, 본 연구에서는 이 총비용의 목표값이 최소가 되는 최적 최소접근온도차가 존재하고, 이로부터 열교환망 합성이 수행되어야 최적의 열교환망 합성이 이루어져야 한다는 결론을 얻었다.

## 1. 서 론

석유화학공업중에서 정유공정은 대표적인 에너지 소비 및 생산공정으로서 에너지 절감의 극대화를 위해서 열교환기들을 효율적으로 배치할 수 있도록 열 교환망 합성에 대한 연구가 필요하다. 정유공정에서의 열 교환망 합성이란 각 단위공정의 흐름등이 갖는 열량을 효율적으로 배열하여 에너지 손실을 최소화하고 단위공정의 에너지 사용량을 최적화시킬 수 있도록 열 교환기들을 적절히 배치하는 네트워크를 의미한다. 즉 초기 온도, 목표 온도, 유량과 열용량을 아는 다수의 흐름들이 온류(hot stream)와 냉류(cold stream)로 공존하고 스팀이나 냉각수와 같은 유틸리티가 존재할 때 온류와 냉류가 적절히 열교환 되도록 공정설계를 하는 것이다<sup>1)</sup>. 그러므로 정유공정을 증설하는 초기 계획단계에서 열 교환망 합성의 논리를 적용하여 설계하면 에너지 사용 효율을 최대화하여 정유공정에서 생산되는

각종 원제품의 생산원가 절감과 국제 경쟁력 강화의 두가지 장점을 얻을 수 있을 것이다.

## 2. 적용 사례

### 2.1. 제 1 법칙 분석(First-Law Analysis)

정유공정의 한 부분인 demethanizer의 core exchanger 주위의 열교환기들은 Table 1에 나타나는 흐름의 특성을 갖는 흐름으로 구성되어 있다. 그 흐름들은 냉각되어야 하는 2개의 난류와 가열되어야 하는 3개의 냉류들로 이루어져 있다.

Table 1. Stream data for example.

STREAM NO.	CONDITION	FC <sub>p</sub> (KW/ °C)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	Q available, (KW)
C1	Cold	81.220	14.8	-25.6	3281.288
C2	Cold	6.799	4.1	-38.8	291.677
C3	Cold	30.860	15.2	-22.1	1151.078
h4	Hot	45.440	-19.2	10.0	-1326.848
h5	Hot	83.694	-25.0	-13.4	-970.85
					2426.345

Table 1에서 각각 Q값들은 열용량(FC<sub>p</sub>)과 온도차(T<sub>in</sub>-T<sub>out</sub>)의 곱으로 구해지고 이 값들은 난류에서 유용한 열과 냉류에서 필요한 열이 된다. 냉류들에서는 각각 3281.288, 291.677, 1151.078kw의 열이 목표온도까지 가열되기 위해서 공급되어야 하고, 난류에서는 각각 1326.848, 970.85kw의 열이 목표온도까지 냉각되어지기 위해서 제거되어야 한다. 이러한 이들 값들사이의 차이 즉, 2426.345kw는 제 1법칙을 만족하기 위해 공급되어야 하는 순수한 열의 양이다.

### 2.2. Cascade Diagrams

난류와 냉류들사이의 최소접근 온도차(minimum driving force)를 각각 5°C, 10°C로 임의로 가정하여 Fig.4,5처럼 흐름을 나타낼 수 있다. 그리고 이 그림으로 얻어진 각 온도구간별 유용한 열을 이용하여 Fig.6,7과 같은 Cascade diagram을 그릴 수 있다. 이 그림은 각 온도구간에서의 이용 가능한 가장 높은 온도간에 이용 가능한 열을 다음 낮은 온도구간에 열을 전달시킨다. 그러므로 이 열을 낮은 온도구간까지 전달시킬 수 있다.

### 2.3. 열 교환망 합성

기존에 설계된 열교환망은 3개의 열교환기와 2개의 유틸리티가 존재한다. 새로운 열교환망 합성을 위해 핀치설계법(pinch design method)을 도입하여 설계하였다. 두가지의 경우의 최소접근 온도차에 대해 Fig.10,11에 나타내었다. 그리고 이렇게 합성되어진 열교환망은 Fig.12,13과 같이 공정흐름에 나타내었다.

## 3. 결론 및 향후방향

지금까지 주어진 예제에 대해서 임의의 최소접근온도차 5°C와 10°C을 각각 적용하여 열교환망 합성을 하였다. 이 결과로 핀치온도가 각각 -13.8°C, -18.4°C이었다. 최소접근온도차 5°C일 경우, 최소가열요구량과 최소냉각요구량은 각각 2824.72, 407.57kw이었고 열 교환망 합성시 요구되어지는 열교환기는 4개, cooler 2개, heater 3개였다. 그리고 최소접근온도차 10°C일 경우, 최소가열요구량과 최소냉각요구량은 각각 3377.359, 951.014kw이었고, 열 교환망 합성시 요구되어지는 열교환기는 3개, cooler 2개, heater 3개였다. 이 결과로 최소접근온도차가 증가하므로써 열교환기 수는 감소하였지만 상대적으로 유틸리티 수는 증가함을 알 수 있다. 즉, 열교환기 수와 유틸리티 수가 최소가 되는 최적의 최소접근온도차가 있음을 확인하였다. 그러나 이 결과가 기존에 설계된 열교환기수와 utility 수 보다 더 크게 나왔다. 이는 초기에 흐름을 정의할 때 상변화가 일어나 잠열이 발생하는 흐름들을 문제의 단순화를 위해 단일상으로 가정하였기 때문이다. 이로 인해 잠열만큼의 에너지를 유틸리티로써 보충하게 되므로 유틸리티 수가 더 크게 존재하는 것으로 확인되었다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해서는 다성분계에서의 이들 값(잠열, 열량값등)을 열역학적으로 보정할 수 있도록 앞으로 연구가 진행되어야 겠다. 또한 위의 결과들은 manual calculation을 통한 기초 연구과정에서 얻어진 값이므로 이와같은 초기 단계의 연구결과에 근거하여 전체비용을 최소화시키는 최적의 최소접근온도차 값을 찾아내어 순차적으로 열교환망 합성을 할 수 있는 프로그램 code을 개발하는 것이 향후 진행되어야 할 것으로 보여진다.

## 참 고 문 헌

1. 조영상:“에너지 절감을 위한 열교환망 합성 연구”, 과학기술처 (1990).
2. Linnhoff, B. and Flower, J.R.: AICHE J., 24 633 (1978).
3. Linnhoff, B. and Hindmarsh, E.: Chem. Eng. Sci., 38, 745(1983).
4. Linnhoff, B. and Flower, J.R.: Chem. Eng. Sci., 38 745 (1983).
5. Linnhoff, B. and Ahmad, S.: Computers Chem. Eng., 14, 729 (1990).
6. 이해평,이인영,류경옥:에너지공학, 4, 13(1995)
7. 이해평,류경옥: 화학공학, 32, 288 (1994)
8. 김상우,이해평,백운화,박선원: 화학공학, 30, 318(1992)
9. 주현수,최창균,김화용: 화학공학, 30, 537(1992)
10. Douglas, J.M.:“Conceptual Design of Chemical Processes”, McGraw-Hill, NewYork(1988)

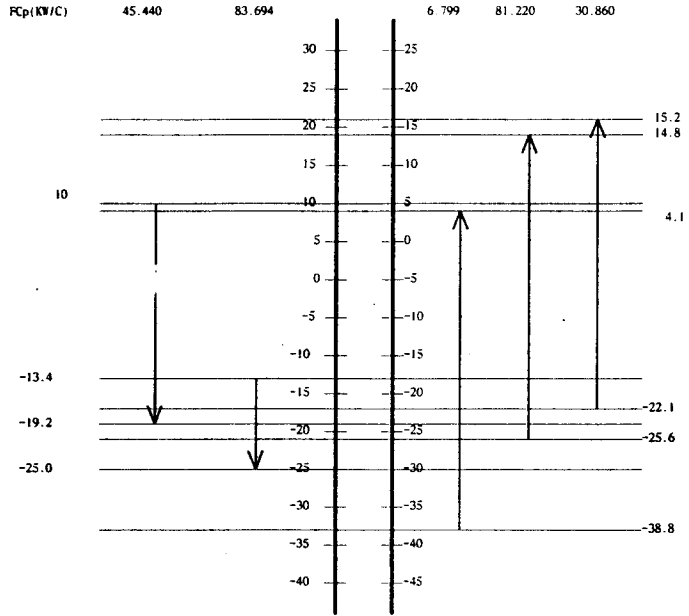


Fig.1. Temperature intervals for  $\Delta T_{\min}=5^{\circ}\text{C}$ .

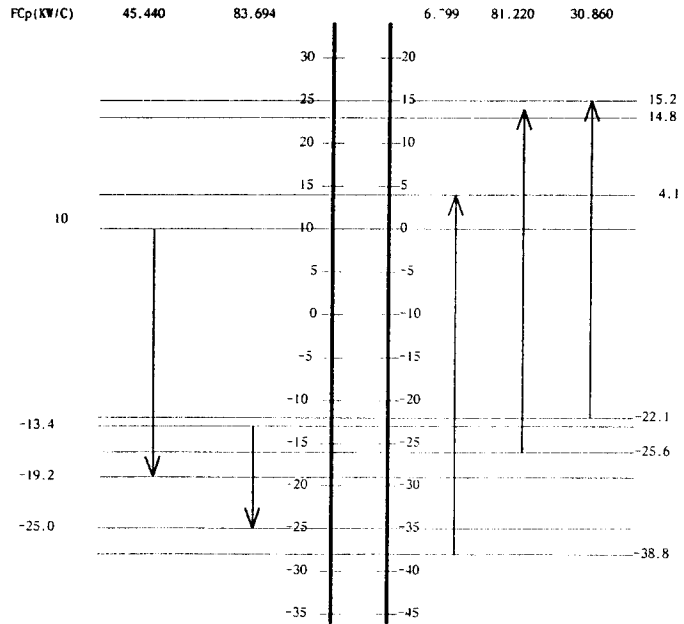


Fig.2. Temperature intervals for  $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$ .

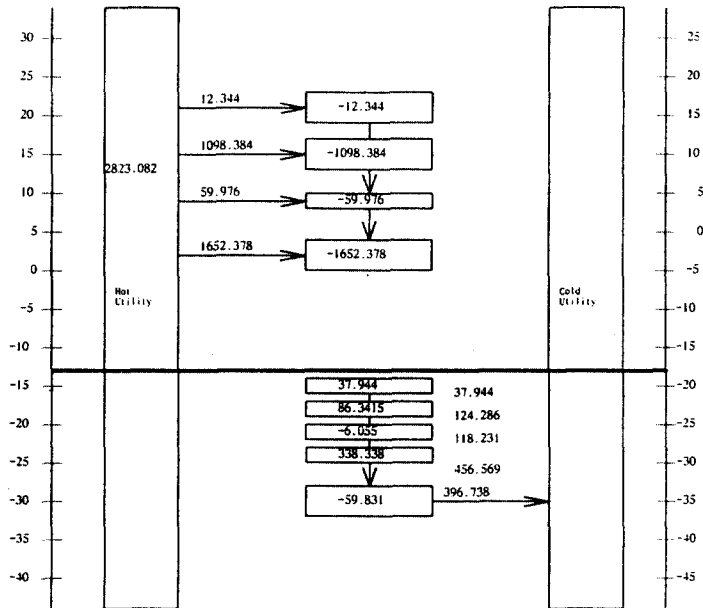


Fig.3. Cascade diagram for  $\Delta T_{min}=5^{\circ}\text{C}$ .

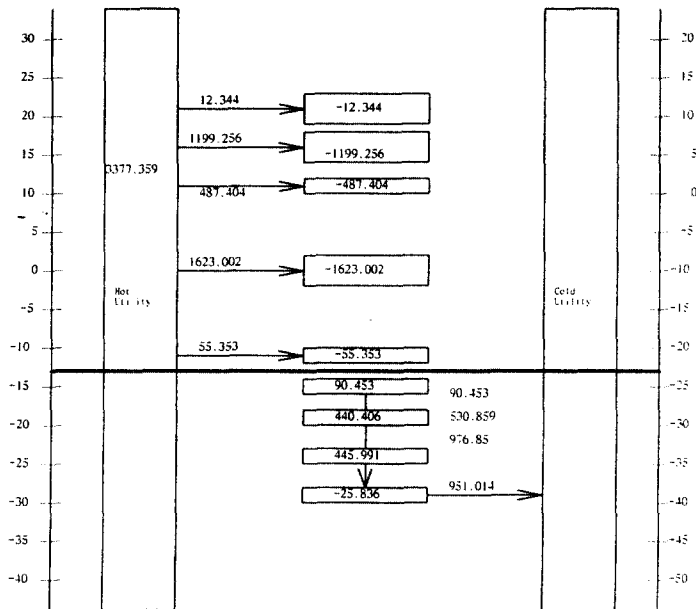


Fig.4. Cascade diagram for  $\Delta T_{min}=10^{\circ}\text{C}$ .

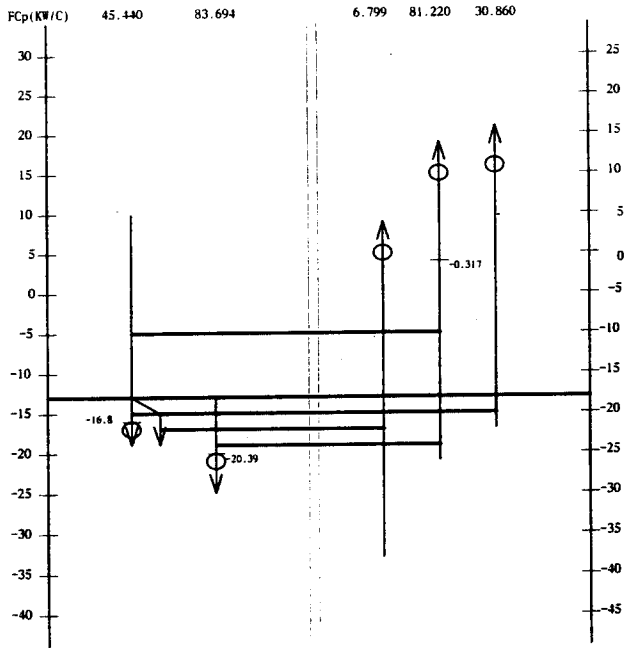


Fig.5. Heat exchanger network for  $\Delta T_{\min}=5^{\circ}\text{C}$ .

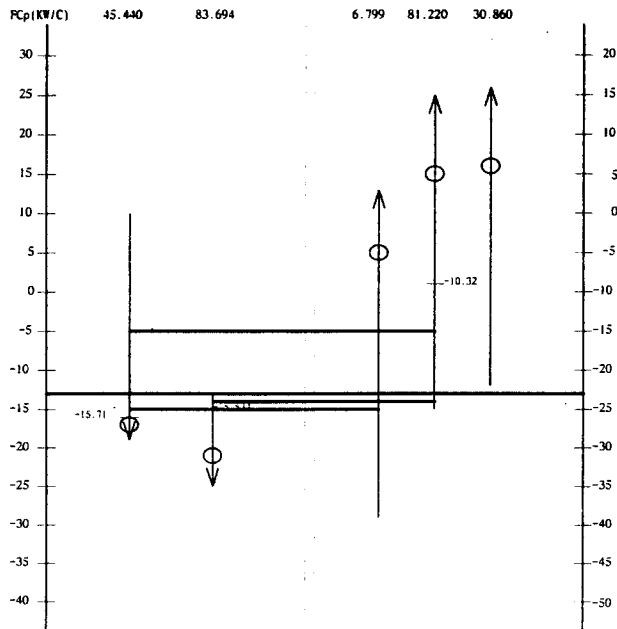


Fig.6. Heat exchanger network for  $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$ .

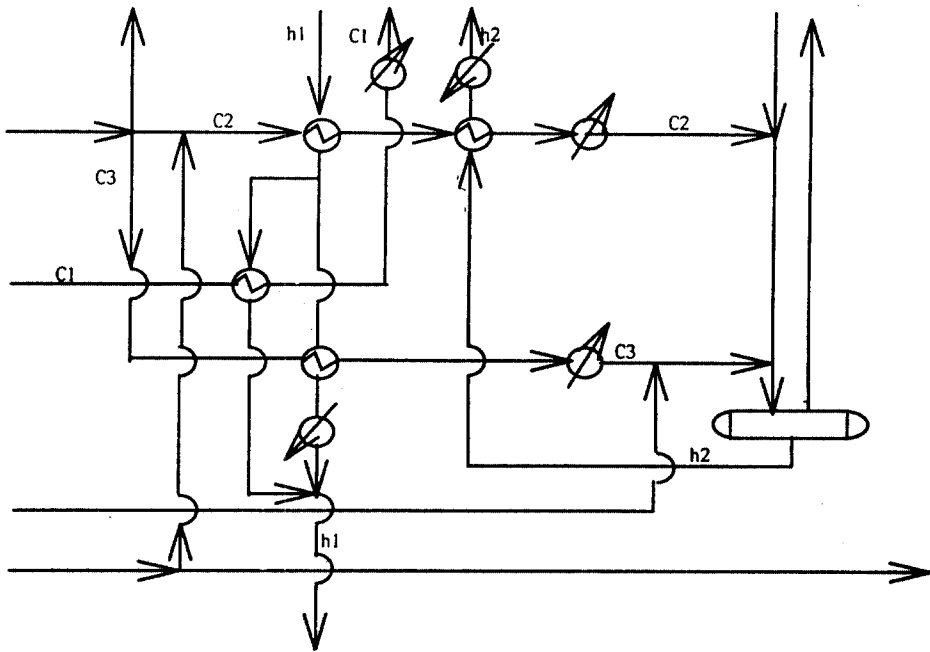


Fig.7. New designed processes by the pinch design method for  $\Delta T_{\min}=5^{\circ}\text{C}$ .

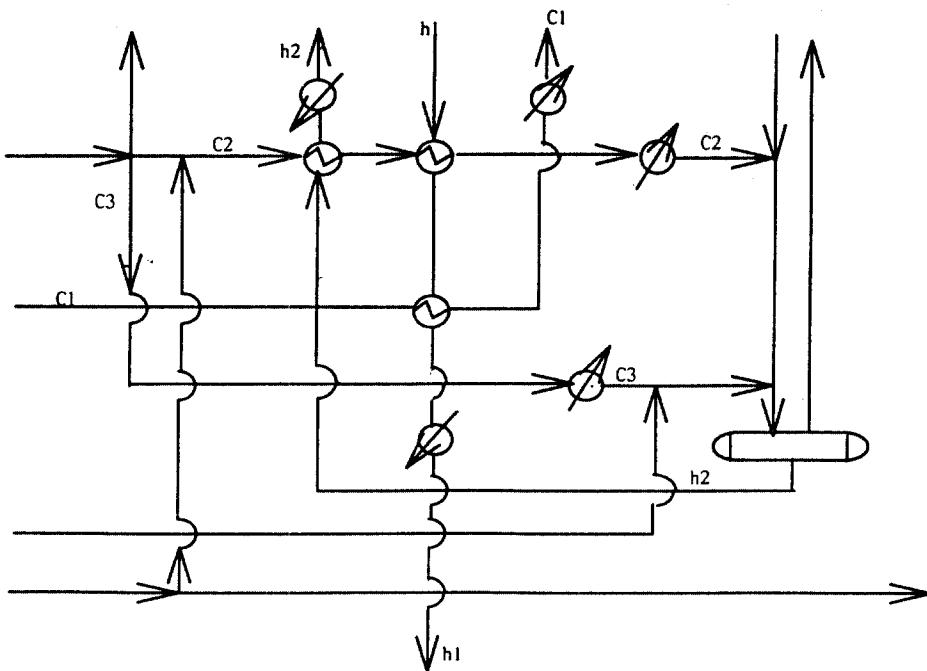


Fig.8. New designed processes by the pinch design method for  $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$ .