creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학전문석사학위 연구보고서

에너지 절감을 위한
Deheptanizer(DeC7) Column
최적화 연구

2018년 2월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과

이 동 기

에너지 절감을 위한
Deheptanizer(DeC7) Column
최적화 연구

지도교수 이 종 민

이 리포트를 공학전문석사 학위 연구보고서로 제출함

2018년 **2**월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과

이 동 기

이동기의 공학전문석사 연구보고서를 인준함

2018년 **2**월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

초 록

Deheptanizer(DeC7) Column은 방향족 분리 공정(Para-Xylene 생산 공정)에서 이성화 반응을 거친 생성물로부터 Xylene을 회수 하는 증류탑이다. 과거에는 초기 투자비 감소 목적으로 설비의 Size 감소 및 Column에서 발생되는 Off-Gas 를 Compressor 없이 Heater에 공급하기 위하여 가압 증류로 설계 되었다. 하지만 최근에는 가압 증류는 에너지 사용량 증가 및 고온으로 인한 열분해 발생 등의 문제로 특별한 목적 이외에는 고려되어지지 않고 있다.

본 연구에서는 가압으로 운전 중인 DeC7 Column 의 운전 압력 감소를 통하여 분리 효율 상승 및 에너지 절감 확인을 위한 공정 모델링을 수행하였다. 화학공정 모사기는 Aspen Plus V8.8을 사용하였고, 열역학 모델식으로는 Peng-Robinson 상태 방정식(PR EOS)을 적용하였다. 압력 변경 시 현재 설비의 문제점을 파악하고, 이를 개선할 수 있는 최적의 공정을 제안하였다. 그리고 이와 관련된 추가 설비 검토 및 투자 결정을 위한 경제성 평가도 진행하였다. 연구 결과, 가압 운전 대비 상압 운전 시 20%의 에너지 절감 가능하였으며, 공정 최적화를 통하여 년간 10억 원 이상의 경제적 효과를 이룰 수 있음을 보여 주었다.

주요어 : Aspen Plus, Para-Xylene, PR EOS, 공정 모델링, 공정 최적화, 증류
학 번 : 2016-22212

목 차

제 1 장 서론 ····· 1

제 2 장 공정 개요 ····· 5

제 1 절 Para-Xylene(PX) Process ····· 5

제 2 절 Deheptanizer(DeC7) Column 개요 ····· 8

제 3 장 이론 ····· 10

제 1 절 상대 휘발도 ····· 10

제 2 절 기-액 상평형 ····· 14

제 3 절 Capacity Limitation of Tray Column ····· 17

제 4 장 공정 모사 수행 ····· 19

제 1 절 DeC7 Column 정상 상태 모사 ····· 19

제 2 절 압력 변경을 통한 공정 모사 ····· 27

1. 현재 설비에서의 압력 변경 ····· 27

2. OVHD TRIM CONDENSER 정상화 시 압력 변경 ··· 31

제 3 절 DeC7 Column Internal Check ····· 34

제 4 절 Benzene loss 감소 방안 ····· 36

제 5 장 공정 최적화 및 경제성 평가 ····· 37

제 1 절 최적화 방안 및 설계 ····· 37

제 2 절 경제성 평가 ····· 40

제 6 장 결론 ····· 44

제 1 절 요약 ····· 44
제 2 절 후속 연구 ····· 45

참고문헌 ····· 46
Abstract ····· 48

표 목 차

Table 2-1. Chemical property of main component in para-xylene process ····· 7
Table 4-1. Design specifications of DeC7 column ····· 22
Table 4-2. Data sheet and geometry of the exchangers ····· 23
Table 4-3. Internal Condition of DeC7 Column ····· 24
Table 4-4. Comparision between current operating and simulation condition ····· 26
Table 4-5. Simulation results for the effect of DeC7 Column operating pressure ····· 28
Table 4-6. Simulation results(Normalization of OVHD Trim Condenser) for the effect of DeC7 Column operating pressure ····· 32
Table 4-7. Effect of DeC7 Column operating pressure on Max. flooding and Min. liquid loading ····· 35
Table 4-8. Effect of chilled water on benzene loss ····· 36
Table 5-1. Design of additional equipment ····· 39
Table 5-2. Economic feasibility of the DeC7 Column optimization ····· 42
Table 5-3. Economic feasibility of CO2 emission reduction ····· 42
Table 5-4. Investment cost ····· 43

그 림 목 차

Figure 1-1. The trend and distribution for energy consumption in Korea ····· 3

Figure 1-2. The energy consumption in 1990 and 2015 by industries ····· 4

Figure 2-1. Para-Xylene production process ····· 6

Figure 2-2. Xylene isomer ····· 7

Figure 2-3. Flow diagram of DeC7 Column ····· 9

Figure 3-1. Vapor-liquid Equilibrium Curves for constant values of relative volatility ····· 12

Figure 3-2. Vapor-liquid Equilibrium Curves for the effect of operating pressure ····· 13

Figure 3-3. Guideline for choosing a property method ····· 16

Figure 3-4. Performance diagram for tray columns ····· 18

Figure 4-1. Flow diagram of DeC7 Column simulation ····· 21

Figure 4-2. Tray layout on (a) 2 pass trays and (b) 4 pass trays ····· 25

Figure 4-3. Effect of DeC7 Column operating pressure on (a) the reboiler heat duty, (b) the reflux ratio, (c) the reboiler boilup rate ····· 29

Figure 4-4. Effect of DeC7 Column operating pressure on (a) EA-1103 outlet temperature and (b) benzene loss flow ····· 30

Figure. 4-5. Effect of DeC7 Column operating pressure on
(a) reboiler heat duty and (b) benzene loss flow ····· 33
Figure 5-1. Flow diagram after optimizing DeC7 Column ····· 38

제 1 장 서론

제조업에서는 제품을 생산하기 위해 에너지가 반드시 필요하며 산업이 성장할수록 에너지 사용량 증가는 불가피한 상황이다. 그리고 에너지 사용량이 많을수록 지구 온난화의 원인인 온실가스 또한 증가되게 된다. 온실가스 감축을 위해 정부에서는 2015년에 배출권 거래제를 도입하였으며, 산업계에서는 정부 정책에 따라 온실가스 감축을 위해 감축 목표량을 산정하고 달성토록 에너지 절감 계획을 세워 진행하고 있다.

Figure 1-1, 1-2에서 보듯이 현재 우리나라의 에너지 소비 분포를 보면 산업계에서 60% 이상의 에너지를 사용하고 있으며, 그 중에서도 특히 석유화학 산업은 제조업종에서 사용하는 에너지의 47%를 사용하여 가장 높은 에너지 소비량을 나타내고 있다.

따라서 석유화학 산업에서는 에너지 사용량 절감 및 온실가스 배출량 저감을 위한 연구 및 투자가 한창 진행되고 있으며, 에너지 효율화를 위해 기획, 전략, 실행업무를 세분화하여 체계적인 전담 조직을 운영함으로써 조직 간의 시너지를 극대코자 하고 있다. 에너지 절감을 위한 가장 대표적인 연구는 기존 공정을 최적화하는 하는 것이다. 최적화는 공정 또는 설비의 운전 조건이나 장치의 종류나 구조, 순서 등을 변경하여 공정의 합리화 및 경제성을 향상시키는 작업이다. [1]

본 연구의 해당 공정은 Para-Xylene(PX) 생산 공정이며, Para-Xylene은 폴리에스터 섬유 및 필름, 생수병 및 음료수병으로 사용되는 Bottle 수지 등의 원료인 Purified Terephthalic Acid(PTA) 의 원료로 사용되어 지고 있다. 국내 대부분의 PX 생산 공정은 Licensor 인 UOP(A Honeywell Company) 에 의해 Basic Design 되어 졌으며, 초기 Design 조건에 따라 현재 운전되어 지고

있다. 본 연구의 해당 공정도 마찬가지로 1995년도에 UOP 에 의해 설계 되어 초기 Design 조건에 준해 운전되어 지고 있다. UOP 는 현재까지 에너지 절감 및 설비 합리화를 목적으로 Basic Design 의 개선이 지속적으로 이루어지고 있었으나, 석유화학 공장과 같은 규모가 큰 장치 산업은 대규모 투자 없이는 Basic Design 의 운전 조건을 변경하는 것이 쉽지만은 않다. 하지만 에너지 절감이 무엇보다도 중요한 이 시기에 기존 Design 조건 변경을 통한 최적화 검토 및 설계까지도 연구가 진행되어져야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 PX 생산 공정 중 Deheptanizer(DeC7) Column 설비에 대하여 운전 압력 변경을 통한 에너지 절감 최적화 작업을 진행코자 하였다. 현재 DeC7 Column 은 Basic Design 대로 가압으로 운전되고 있어 분리코자하는 물질의 상대휘발도 차이가 줄어들어 상압 운전 대비 에너지 소비량이 많을 수 있다. 그래서 Aspen Tech 사의 Aspen Plus(공정모사기)를 통해 가압으로 운전되어지고 있는 DeC7 Column 의 운전 압력을 점차적으로 감소하여 Heat Duty 가 얼마나 감소하는지 알아보았다. 그리고 상압 운전 시 기존 설비의 활용 가능 여부를 확인하였으며, 추가 보완 설비에 대한 설계도 동시에 수행하였다. 참고로 최근에 UOP 에 의해 설계된 PX 생산 공정의 DeC7 Column 의 운전 조건이 가압 운전에서 상압 운전으로 변경되었으며, 이를 참고하여 당사의 기존 설비에 적용이 가능한지 검토 진행하였다.

본 연구의 결과를 바탕으로 에너지 절감액 대비 설비 투자에 따른 회수 기간을 파악한 결과, 실행 가능한 현실성 있는 제안이며 다른 기존 PX 공정에서도 적용 가능하다는 점에서 큰 의의를 가진다.

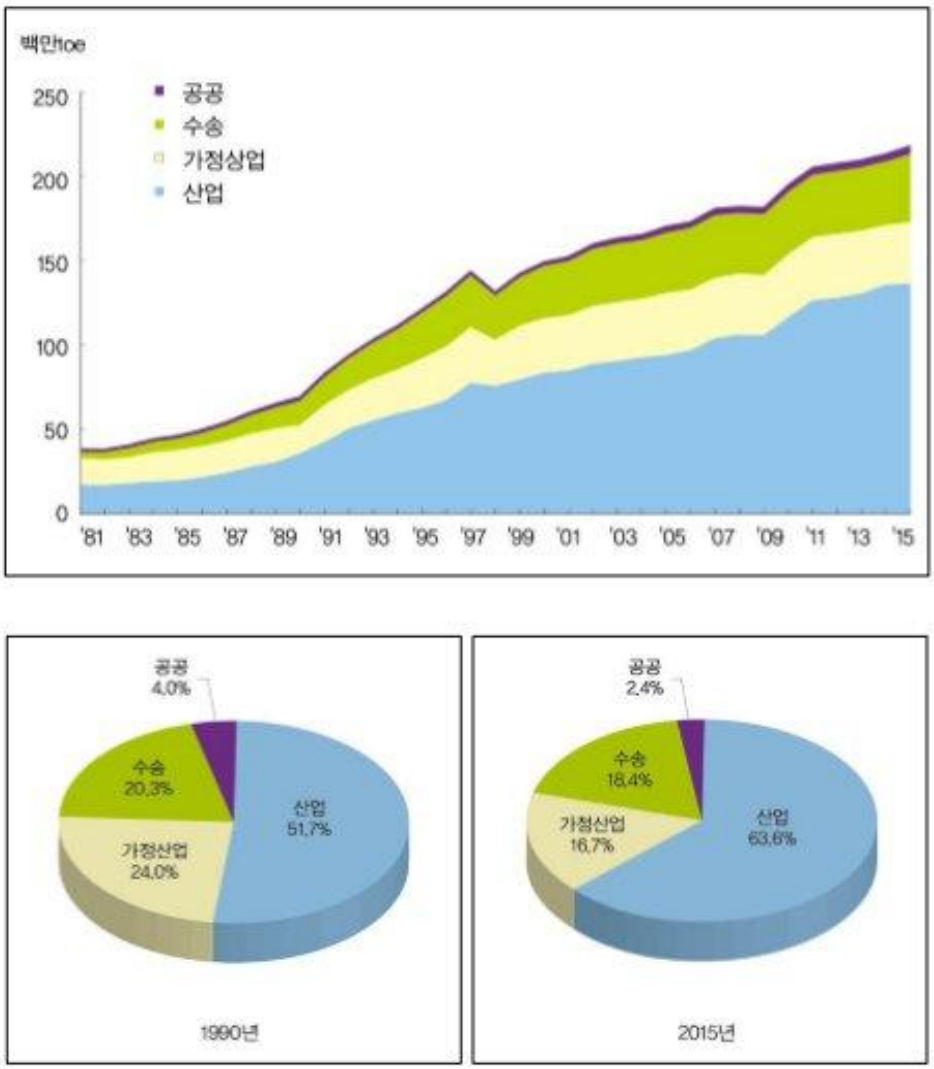


Figure 1-1. The trend and distribution for energy consumption in Korea

(자료: 에너지관리공단, 2015년 부문별 에너지 소비 결과 발췌)

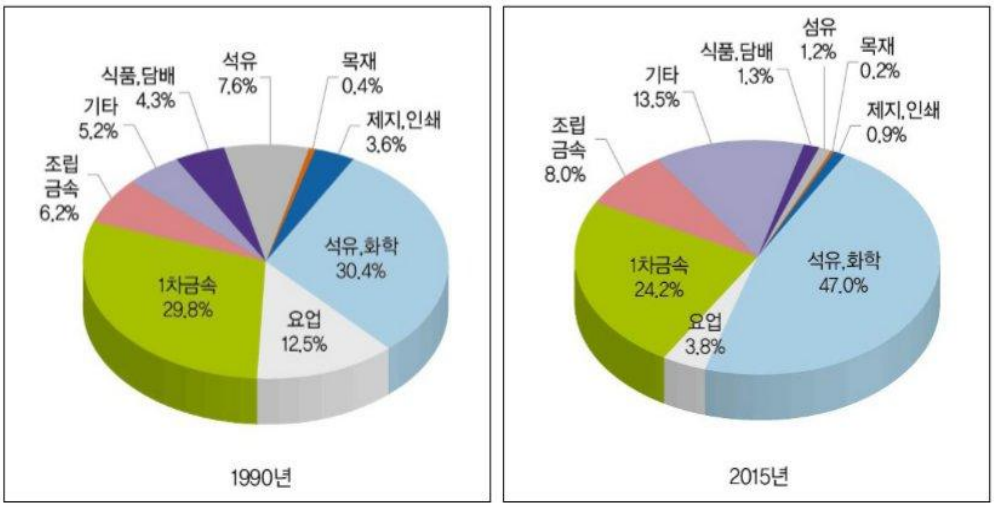


Figure 1-2. The energy consumption in 1990 and 2015 by industries
(자료: 에너지관리공단, 2015년 부문별 에너지 소비 결과 발췌)

제 2 장 공정 개요

제 1 절 Para-Xylene(PX) Process 개요

PX 생산 공정은 Mixed Xylene 을 원료로 하고 있으며, Mixed Xylene의 주요 성분은 Table 2-1 과 같으며 Xylene 의 함량이 가장 높다. Xylene 은 Para-Xylene(PX), Meta-Xylene(MeX), Ortho-Xylene(OX) 로 이루어졌으며, Figure 2-2 와 같이 분자량은 같으나 분자 구조가 다른 이성질체로 약 1:2:1 의 평형 상태로 존재한다. PX 생산 공정은 Figure 2-1 과 같이 크게 세 가지 공정으로 이루어져 있다.

1) 분류 공정 : 원료(Mixed Xylene)를 공급 받아 비점 차이를 이용하여 OX를 생산하며, 다음 공정인 흡/탈착공정으로 보낼 수 있는 규격을 맞추는 역할을 한다.

2) 흡/탈착 공정 : PX 는 MeX 와 비점이 비슷하여 증류로는 분리가 어려워 PX 를 선택적으로 흡착하는 흡착제에 의해 분리되어 생산된다. [2]

3) 이성화 공정 : PX 를 생산한 나머지 Xylene 은 반응기에서 이성화 반응(Xylene 평형 반응)을 거쳐 PX 의 조성이 높아지게 된다. 그리고 원료 중에 있는 Ethyl Benzene 은 H2 와 반응(Dealkylation 반응)하여 Benzene 과 공정 Off-Gas 가 생산된다. [3]

이렇게 이성화 반응을 거쳐 PX 조성이 높아진 반응물은 본 연구 대상 설비인 DeC7 Column 을 통해 Xylene 을 분리하여 분류 공정으로 보내진다.

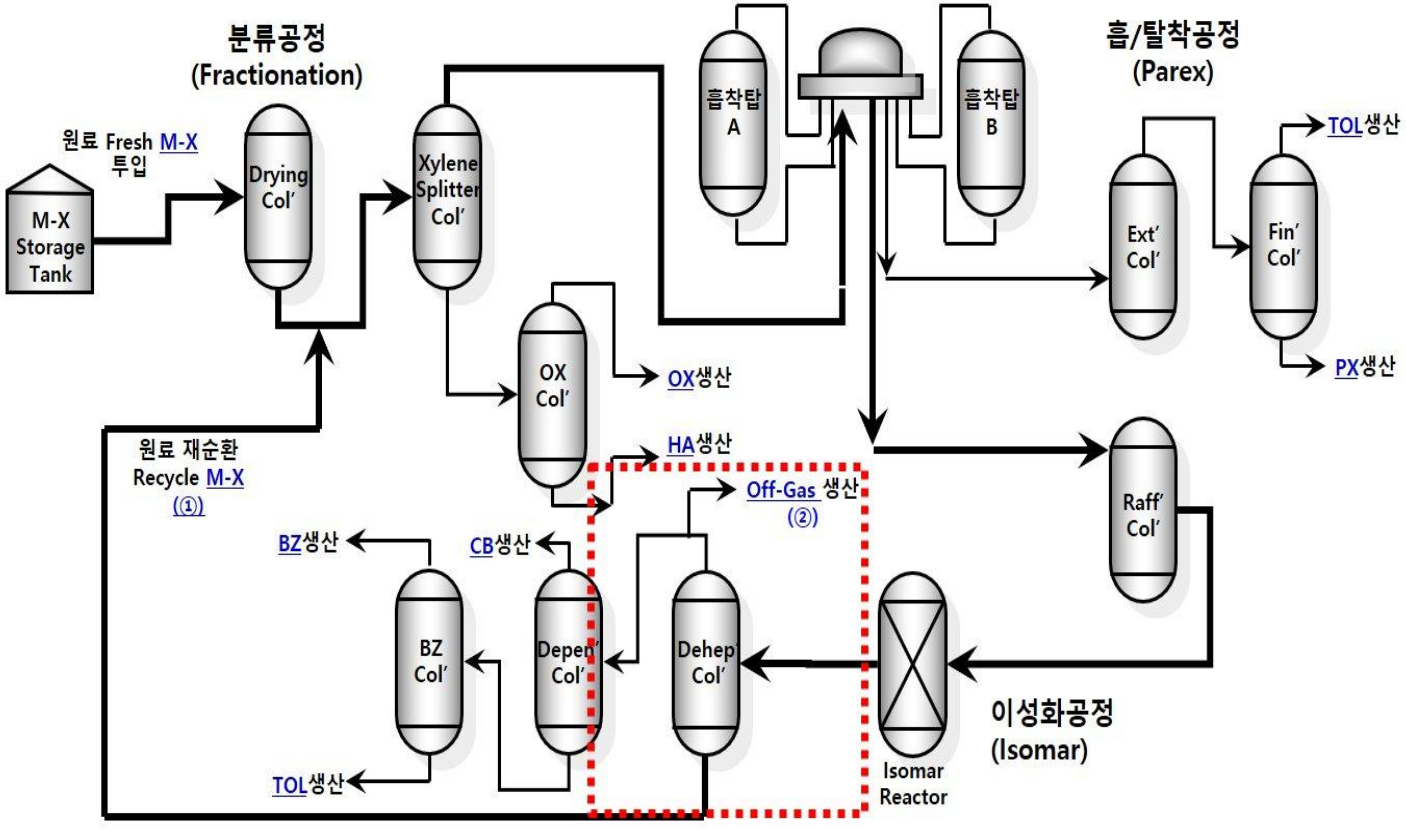


Figure 2-1. Para-Xylene production process

Material	Formula	M.W	Sp.Gr (15℃)	Boiling Point	Melting Point
Benzene	C6H6	78.11	0.879	80.1	5.5
Toluene	C6H5CH3	92.13	0.871	110.6	-95.0
Ethyl Benzene	C6H5C2H5	106.16	0.867	136.2	-94.9
Para-Xylene	C6H4(CH3)2	106.16	0.865	138.4	13.3
Meta-Xylene	C6H4(CH3)2	106.16	0.862	139.1	-47.8
Ortho-Xylene	C6H4(CH3)2	106.16	0.881	144.4	-25.2
Isopropyl Benzene	C6H5CH(CH3)2	120.01		152.7	-96.0

Table 2-1. Chemical property of main component in para-xylene process

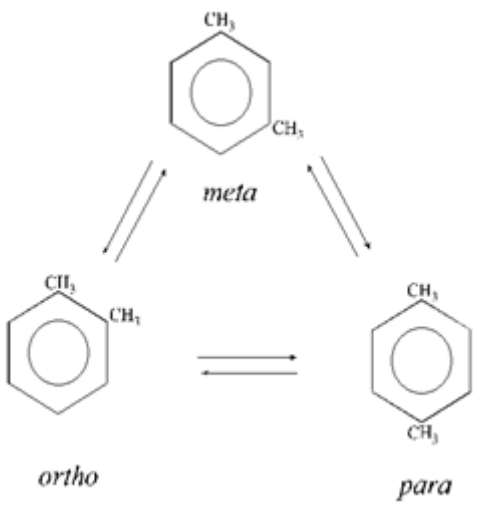


Figure 2-2. Xylene isomer

제 2 절 Deheptanizer(DeC7) Column 개요

DeC7 Column 은 반응기에서 Xylene 평형 반응과 Dealkylation 반응 이 이루어진 반응물로부터 Xylene 을 분리하는 증류탑이다. Column 상부로는 Toluene(C7)보다 비점이 낮은 물질이 분리되고, 하부로는 Xylene(C8) 보다 비점이 높은 물질이 분리된다.

DeC7 Column 의 Feed 는 두 개의 Pre-Exchanger(EA-1105, EA-1109) 를 거치면서 Column 상부와 하부에서 분리된 물질로부터 에너지를 회수하여 Column 으로 Feed 되어 진다. Column의 OVHD Vapor는 Condenser(EA-1103)를 통해 응축되어 지고 일부 비응축 가스는 Cooler(EA-1112)를 거쳐 Heater 의 열원으로 사용되어 진다. EA-1103 에 의해 응축된 Distillate 는 다음 증류탑인 Depentanizer(DeC5) Column 으로 이동되어 진다. 그리고 DeC7 Column 하부 성분은 분류 공정으로 재순환되어 진다.

DeC7 Column 은 가압 운전으로 설계되어졌고 현재에도 4.0kg/cm2G 로 가압으로 운전되어지고 있다. 당사의 PX 생산 공정은 1995년 Licensor 인 UOP 에 의해 설계되어졌으며, 이 당시 DeC7 Column 의 Basic Design 은 가압 운전이었다. 이는 가압 운전 시 설비 및 배관 등의 Size 감소를 통한 초기 투자비 감소와 Figure 2-3에서 보는 바와 같이 DeC7 Column 상부에서 발생되는 공정 Off-Gas를 compressor 없이 Fuel Gas Drum(2.5kg/cm2G 운전)으로 이송할 목적으로 가압 운전으로 Design 하였다. 하지만 현재 정유 및 석유화학 공정에서 가압 증류는 에너지 사용량 증가, 고온으로 인한 열분해 발생 등의 문제로 특별한 목적 이외에는 고려되어지지 않고 있다. UOP 에서도 최근에는 에너지 절감의 목적으로 DeC7 Column 의 운전 조건이 가압 운전에서 상압 운전으로 변경하여 설계하고 있다.

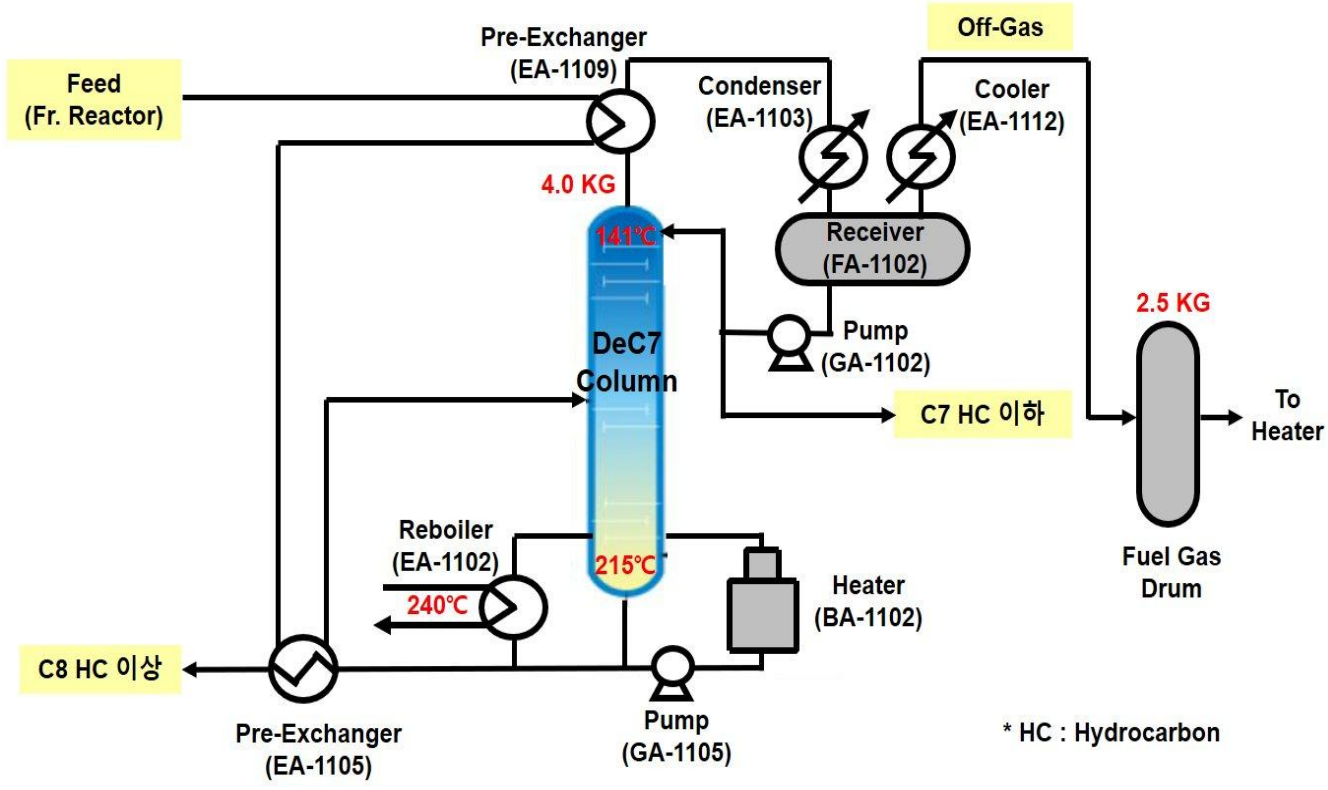


Figure 2-3. Flow diagram of DeC7 Column

제 3 장 이론

제 1 절 상대 휘발도

증류란 혼합물 중에서 분리하고자 하는 성분들 간의 휘발도 차이를 이용하여 휘발도가 높은 성분은 증류탑 상부로 나오고 휘발도가 낮은 성분은 증류탑 하부에서 나오는 대표적은 분리 방법이다. 증류에서 분리가 쉽고 어려움은 두 성분의 상대 휘발도(α)에 달려있다. 상대 휘발도가 크면 클수록 분리가 쉽고 1에 가까워질수록 분리하기가 힘들다. 실세 공장 규모에서 증류는 상대휘발도가 1.05 이하이면 거의 분리가 어렵다. [4]

여기서 휘발도가 높은 성분은 LK(light key) 라 부르고 덜 휘발성 있는 성분을 HK(heavy key) 라 부른다. DeC7 Column 에서는 Toluene 과 Xylene 을 분리를 목적으로 하고 있으니 Toluene 이 LK, Xylene 이 HK 가 된다.

LK 와 HK 의 상대 휘발도룰 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_{LK,HK} = \frac{K_{LK}}{K_{HK}} = \frac{y_{LK}/x_{LK}}{y_{HK}/x_{HK}} = \frac{y_{LK}/x_{LK}}{(1-y_{LK})/(1-x_{LK})} \qquad (3.1)$$

여기서 $K = y/x$ 이며, K-Value 또는 Vapor-Liquid distribution ratio 라 부른다. 만일 두 성분이 이상용액을 형성하고, 증기상에서는 이상기체법칙을 따른다고 가정하면 Rault's law에 따라 K-Value 는 다음과 같이 표현 된다.

$$K_{LK} = \frac{P^s_{LK}}{P}, K_{HK} = \frac{P^s_{HK}}{P} \qquad (3.2)$$

$$(P^s : vapor pressure, P : total pressure)$$

식 (3.1) 과 식 (3.2)을 정리하면 다음과 같다.

$$\alpha_{LK,HK} = \frac{P^s_{LK}}{P^s_{HK}} \tag{3.3}$$

식 (3.3)으로부터 상대 휘발도는 단순히 증기압의 비로 주어지며 이는 온도만의 함수가 된다.

Cox Chart 에 따르면 온도가 증가할수록 두 성분의 증기압 차이는 줄어들게 됨으로 상대 휘발도가 감소하게 된다. [5] 그럼으로 두 성분의 분리효율도 나빠지게 된다.

이를 실제 기체 및 혼합물에서는 Fugacity Coefficient(ϕ) 와 Activity Coefficient(γ) 를 적용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha_{LK,HK} = \phi_r \cdot \gamma_r \cdot \frac{P^s_{LK}}{P^s_{HK}} \tag{3.4}$$

그리고 Equilibrium Curve를 통해 분리 정도를 표현할 수 있다. 식 (3.1)을 y_{LK} 항으로 정리를 하면 아래와 같다.

$$y_{LK} = \frac{\alpha x_{LK}}{1+(\alpha-1)x_{LK}} \tag{3.5}$$

Figure 3.2 에서 상대 휘발도에 따른 Equilibrium Curve를 나타내었다. 상대 휘발도가 증가할수록 상대 휘발도가 1인 45° line에서 멀어지며, 두 물질의 분리도 쉬워진다.

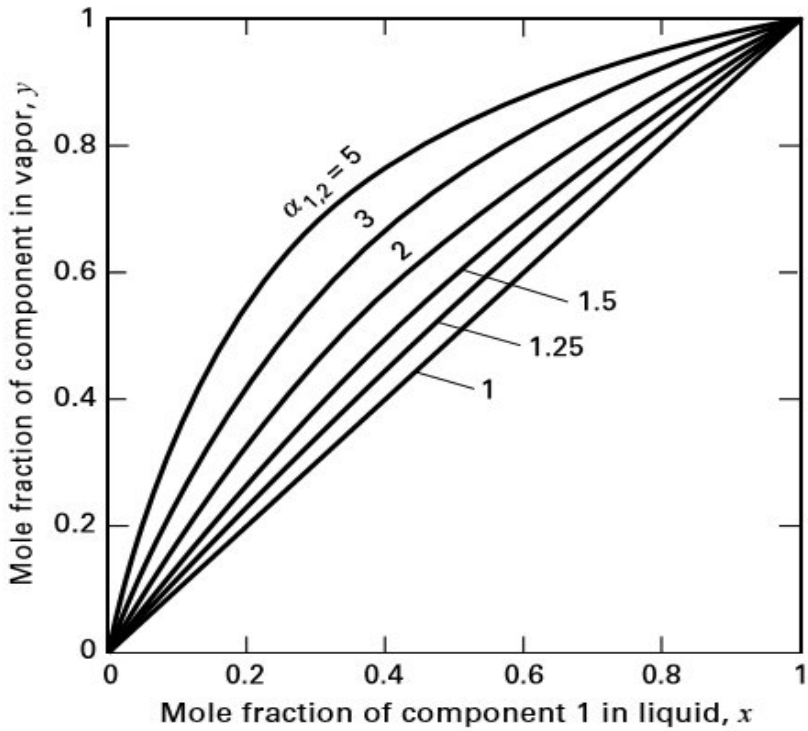


Figure 3-1. Vapor-liquid equilibrium curves for constant values of relative volatility [6]

이를 바탕으로 압력변화에 따른 LK인 Toluene과 HK인 Xylene의 Equilibrium Curves를 Aspen Plus 의 Physical Property를 활용하여 Figure 3-3 으로 표현하여 보았다. 이 때 적용한 Property 는 Peng-Robinson 상태방정식을 적용하였다.

압력이 점차적으로 감소됨에 따라 상대 휘발도가 증가됨을 확인할 수 있었음으로 본 연구 대상 설비인 DeC7 Column의 분리능이 좋아질 것으로 판단된다. 그리고 Equilibrium Curves가 45° line 과 겹쳐지는 부분이 없음으로 공비점(Azeotrope) 구간이 없음을 확인하였다.

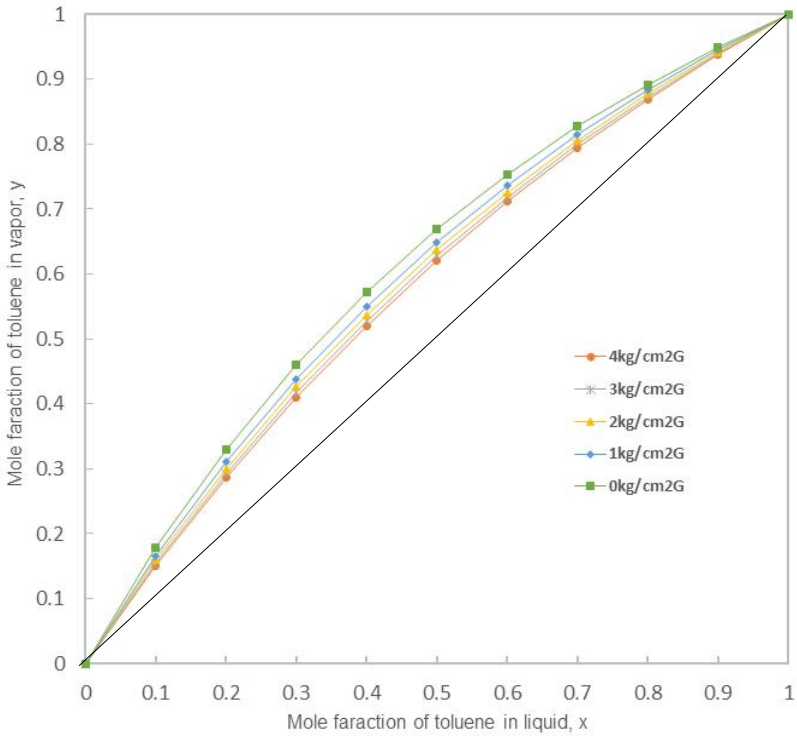


Figure 3-2. Vapor-liquid Equilibrium Curves for the effect of operating pressure

제 2 절 기-액 상평형

공정모사기를 이용하여 화학공정을 모사할 때에 가장 중요한 것은 대상 공정을 실제와 근접하게 모사하기 위한 올바른 열역학 모델식 선정이 필수이다. 본 연구에서는 Ding-Yu Peng 과 Donald B. Robinson 이 1976년에 발표한 Peng-Robinson 상태방정식(PR EOS)을 적용하여 공정 모사를 실시하였다. Figure 3-4 에서의 조성의 특성에 따른 열역학 모델 선정시 기준을 나타내었다. [7] Para-Xylene 공정의 조성은 Table 2-1에서 보는 바와 같이 대부분 탄소수 6개 ~ 10개 사이의 아로마틱 성분으로 구성되어 있다. 아로마틱 성분은 비극성으로 PR EOS, SRK EOS (Soave-Redlich-Kwong equation of state) 선정 가능하며, 그 중 PR EOS 는 Soave 가 제안한 상태방정식에 비해서 탄소수가 6개에서 10개 사이에 있는 탄화수소계열에 대해 액체의 밀도 추산을 더 정확하게 하며 아로마틱 성분에 적용 가능함으로 PR EOS 를 본 연구의 열역학 모델식으로 선정하였다. [8,9] PR EOS의 형태는 다음과 같다. [10]

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b)+b(v-b)} \quad (3.6)$$

위 EOS를 Compressibility Factor(Z)로 나타낼 수 있다.

$$Z^3-(1-B)Z^2+(A-3B^2-2B)Z-(AB-B^2-B^3)=0 \quad (3.7)$$

여기서

$$A = \frac{aP}{R^2T^2} \quad (3.8)$$

$$B = \frac{bP}{RT} \tag{3.9}$$

$$Z = \frac{Pv}{RT} \tag{3.10}$$

Critical Point에 대해 식(3.6)을 적용하여 정리하면 아래와 같다.

$$a(T_c) = 0.45724\frac{R^2T^2}{P^c} \tag{3.11}$$

$$b(T_c) = 0.07780\frac{RT_c}{P_c} \tag{3.12}$$

$$Z_c = 0.307 \tag{3.13}$$

Critical Point 이외의 온도에서는 parameter를 알기 위해서는 아래 식을 이용한다.

$$a(T) = a(T_c) \bullet \alpha(T_r, \omega) \tag{3.14}$$

$$b(T) = b(T_c) \tag{3.15}$$

$$\alpha^{1/2} = 1 + \kappa(1 - T_r^{1/2}) \tag{3.16}$$

$$\kappa = 0.37464 + 1.5422\omega - 0.26992\omega^2 \tag{3.17}$$

여기서 $T_r = T/T_c$ 이다.

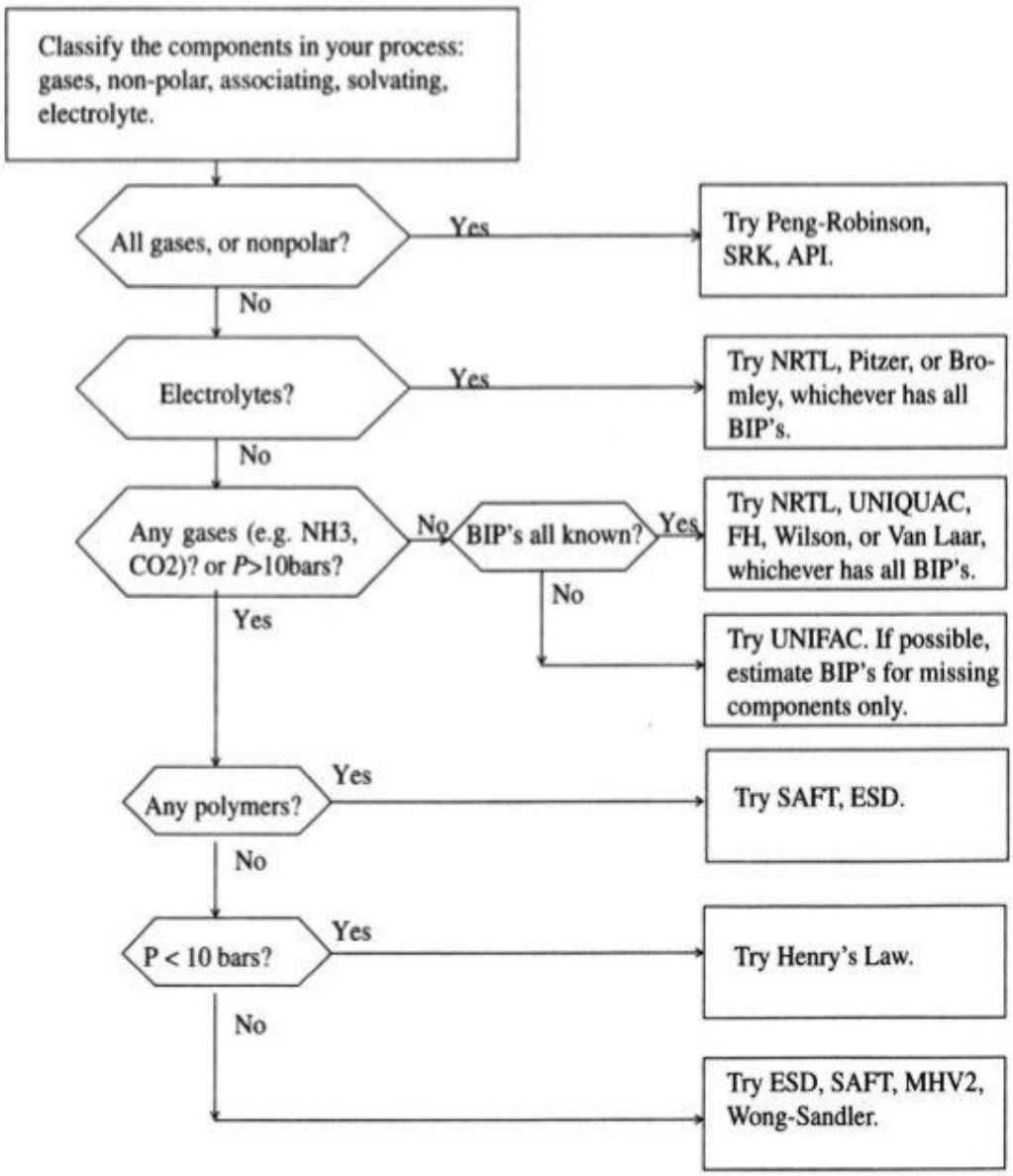


Figure 3.3 Guideline for choosing a property method [7]

제 3 절 Capacity Limitation of Tray Column

본 연구에서 압력 감소에 따라 Vapor의 유속이 증가함에 따른 Tray 의 성능 저하 여부에 대한 검토가 필요하다. Figure 3-6 에서 보는 바와 같이 Vapor 유속이 빨라져 안정적인 운전 범위를 벗어나는 경우 Flooding 과 Blowing 의 발생 우려가 있다. 그럼으로 Tray의 Capacity 한계인 Flooding 과 Blowing 에 대한 이해가 필요하다. [11]

1) Flooding : Downcomer 로 통과되어야할 Liquid가 제대로 통과하지 못하여 Tray Deck을 가득 채우게 될 때 발생한다. Flooding 이 발생하면 Bottom Product의 양이 급격히 줄어 Column 하부의 Level 이 급격이 낮아지고, Tray Efficiency 저하 및 압력 손실 증가되어 Column의 운전이 어려워지게 된다. Downcomer와 Active Area가 적절히 설계된 Tray라면, 대부분의 경우에 Flooding 은 Jetting 이라 하는 현상이 그 주된 원인이 된다. Jetting 은 Column 내에서 Vapor의 속도가 빨라져서, Liquid를 접촉하고 빠져나오는 Vapor 의 속도에 의해 비말 동반된 Liquid 의 Droplet 이 그 크기와 양에 있어서 증가하여 마침내 Droplet 들이 윗 단의 Tray 로 Vapor 와 함께 올라가는 현상을 말한다. 이 경우 바로 윗 단에서 내려오는 Liquid 와 아래에서 올라오는 Liquid 가 가세하여 더 많은 Liquid Flow 를 형성하여 결국은 Downcomer 의 한계를 넘게 되어 Flooding 에 이르게 된다.

2) Blowing : Flooding 과는 반대되는 현상으로 Vapor 에 비해 상대적으로 Liquid 양이 적고 Vapor 의 속도가 빠를 때 Tray Deck 위의 모든 Liquid 가 Spray 되는 형태로 날아가서 Tray 가 말라버리는 현상을 말한다. Blowing 은 Vapor 양이 Liquid 양에 비해 비정상적으로 많을 때 발생한다. Liquid 의 양이 적을 때는 Outlet

Weir 에 댐을 쌓아서 Picket Fence 라고 하는 조치를 함으로써 Blowing 의 발생을 방지할 수 있다. Outlet Weir 의 최소 Liquid Loading 은 약 5GPM/ft 이다. 즉, 1ft의 weir 를 통해 1분 동안 흘러내려가는 Liquid 의 양이 최소 5Galone 정도는 되어야 한다는 의미다.

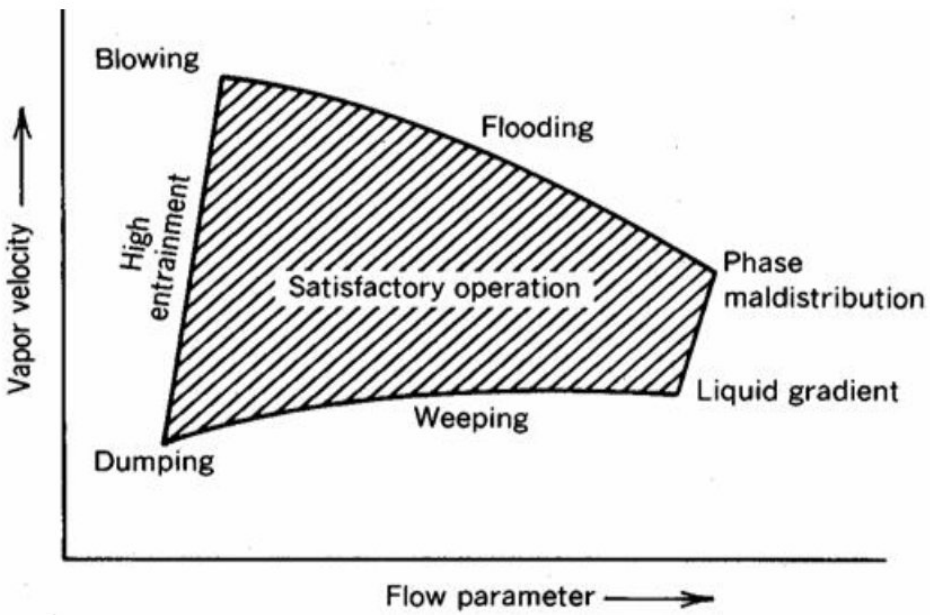


Figure 3-4. Performance diagram for tray columns [12]

제 4 장 공정 모사 수행

제 1 절 DeC7 Column 정상 상태 모사

본 연구에서 모사한 DeC7 Column 의 전체 흐름도는 Figure 4-1 과 같으며 공정모사기는 Aspen Plus V8.8을 사용하였다.[14,15] 압력 변경을 통한 공정모사를 수행하기 전에 현재 운전되고 있는 실제 공장의 운전 조건을 바탕으로 공정모사를 실시하여 얼마나 실제와 공정모사가 일치하는지 확인이 필요하다. 이때 Column 상의 Distillate Rate 중 Total Xylene(PX, MeX, OX) 함량은 1.0wt% 이하가 되어야 하며, 하부 BTM Rate 중 Toluene 함량은 0.75wt% 이하가 되어야 한다. 그리고 Condensor(EA-1103) 는 부식으로 인해 현재 47개의 Tube가 Plugging 되어 있으며, 열교환기가 고소에 설치되어 있어 냉각수(Cooling Water) 통수 불량으로 열교환 효율 저하되어 EA-1103 Outlet Vapor 설계온도 50℃ 대비 6.5℃ 상승된 56.5℃로 운전되고 있다. 이를 고려하여 공정모사 하였다.

DeC7 Column 의 현재 운전 및 설비 현황을 파악하기 위해 현재 Feed 조성 및 기존 설치되어 있는 설비 정보를 Aspen Plus 및 Aspen Plus 와 연동이 되는 열교환기 설계 프로그램인 Aspen Exchanger Design And Rating 에 적용하였다.

1) 열교환기 차압 및 열교환 성능 파악
   - 열교환기 Data Sheet 및 Geometry Information 적용
     (Table 4-2)
2) Column Tray Rating : Column 성능 및 Hydraulic 정보 파악
   - DeC7 Column Tray Information 적용
     (Table 4-3 & Figure 4-2)

위 조건을 반영하여 공정 모사한 결과, Table 4-4 와 같이 현재 운전과 공정 모사 결과값이 비슷함을 확인할 수 있었다. 그리고 실제 운전되고 있는 Reflux 온도 56.5℃를 유지하기 위한 냉각수 통수량이 170ton/h 임을 확인할 수 있었다.

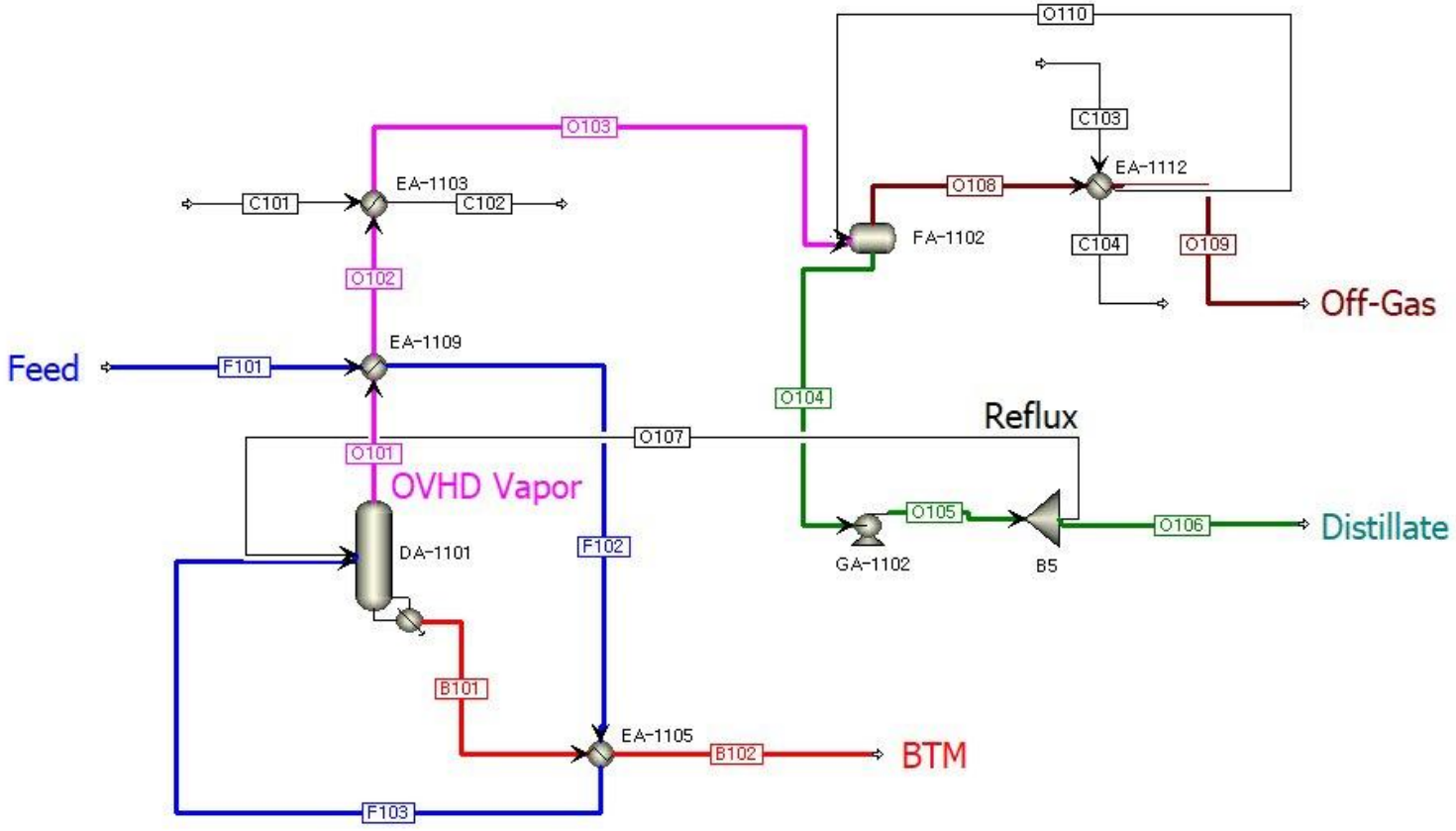


Figure 4-1. Flow diagram of DeC7 Column simulation

Target Product	
Total Xylene Composition of Distillate Rate	< 1.0 wt%
Toluene Composition of BTM Rate	< 0.75 wt%
Feed Flow	211.1 ton/h
Feed Stage	#21
Feed Stream Composition	
HYDROGEN	0.009 wt%
METHANE	0.023 wt%
ETHANE	0.838 wt%
PROPANE	0.152 wt%
ISOBUTANE	0.044 wt%
N-BUTANE	0.020 wt%
2-METHYL-BUTANE	0.050 wt%
N-PENTANE	0.055 wt%
N-HEXANE	0.097 wt%
BENZENE	4.684 wt%
CYCLOHEXANE	0.002 wt%
METHYLCYCLOHEXANE	0.007 wt%
TOLUENE	1.160 wt%
ETHYLBENZENE	4.610 wt%
P-XYLENE	20.446 wt%
M-XYLENE	46.121 wt%
O-XYLENE	19.746 wt%
N-NONANE	1.308 wt%
1-METHYL-3-ETHYLBENZENE	0.176 wt%
ISOPROPYLBENZENE	0.000 wt%
1,2,4-TRIMETHYLBENZENE	0.370 wt%
M-DIETHYLBENZENE	0.082 wt%

Table 4-1. Design specifications of DeC7 column

Item	Unit	Description	TEMA Type	Dimension (Shell ID x Tube Length)	Surface Area
EA-1103	1	OVHD TRIM CONDENSOR	AES	1150mm x 5000mm	463 m^2
EA-1105A/B	2	FEED/BTM PRE-EXCHANGER	AEM	1050mm x 6000mm	988 m^2
EA-1109A/B	2	OVHD/FEED PRE-EXCHANGER	AES	1500mm x 4200mm	834.6 m^2
EA-1112	1	NET OVHD VENT COOLER	BEM	350mm x 4000mm	30.6 m^2

Table 4-2. Data sheet and geometry of the exchangers

Tray Stage	#1 ~ #20	#21 ~ #56
Tray Pass	2	4
Tray Type	Valve (FLEXI TRAY, KOCH-GLITCH)	Valve (FLEXI TRAY, KOCH-GLITCH)
Column Diameter	3800mm	3800mm
Number of Valves	840ea	950ea
Tray Spacing	600mm	600mm
Side Downcomer WidthTtop	388mm	388mm
Off-Center Downcomer Width Top	311mm	311mm
Center Dowencomer Width Top	-	311mm
Side Downcomer Width Bottom	388mm	388mm
Off-Center Downcomer Width Bottom	311mm	311mm
Center Downcomer Width Bottom	-	311mm
Weir Height	75mm	75mm
Downcomer Cleaerance	60mm	60mm

Table 4-3. Internal condition of DeC7 Column

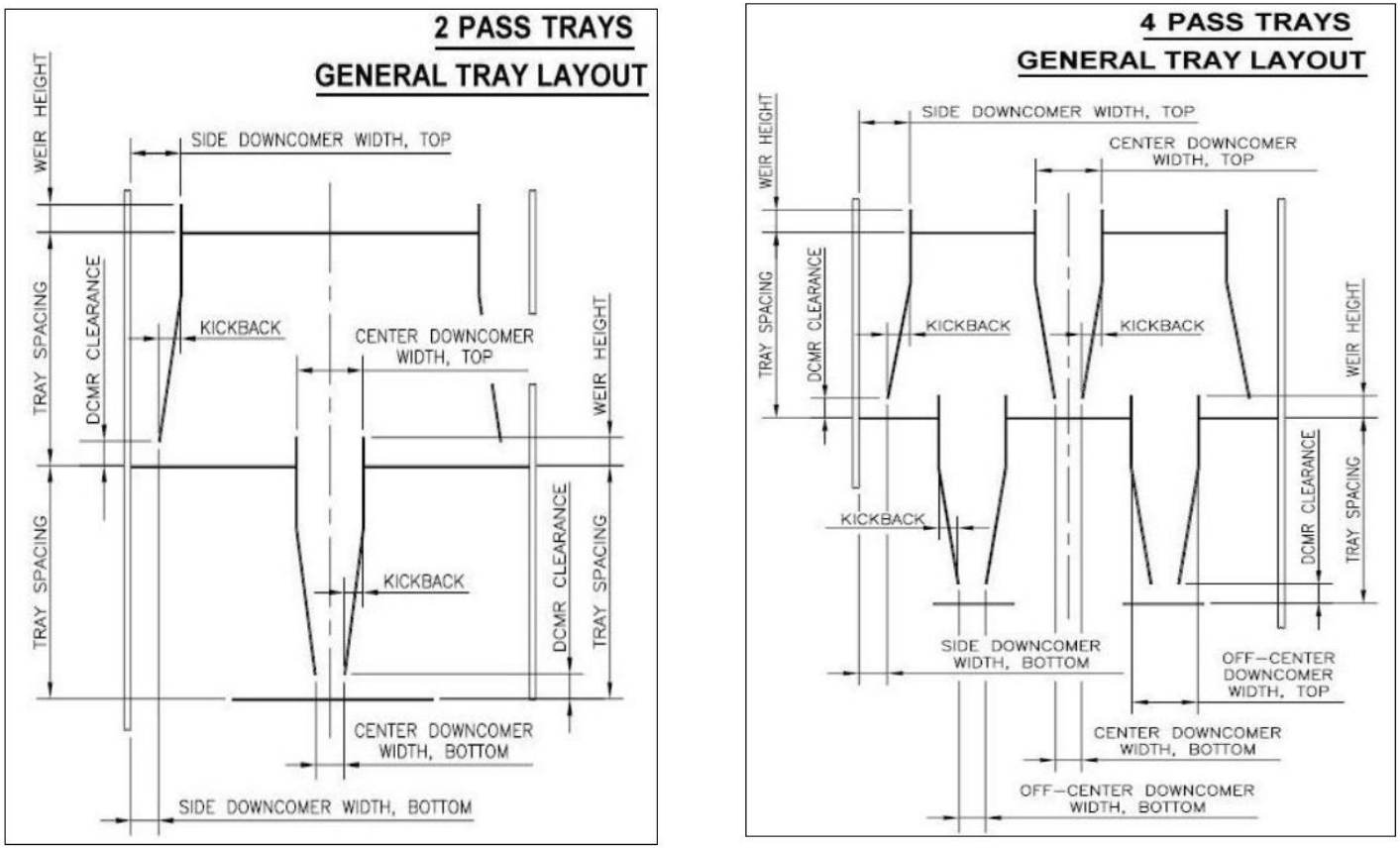


Figure 4-2. Tray layout on (a) 2 pass trays and (b) 4 pass trays

	Stream	현재 운전	공정모사
Flow (ton/h)	Feed	211.1	211.1
	Off-Gas	2.3	2.5
	Distillate	11.2	11.2
	BTM	197.6	197.4
	Reflux	74.3	74.3
Temperature (℃)	Feed	95.0	95.0
	OVHD Vapor	141.5	141.0
	Off-Gas	측정 불가	45.6
	Distillate	56.5	56.4
	BTM	215.8	214.6
	Reflux	56.5	56.4

Table 4-4. Comparision between current operating and simulation condition

제 2 절 압력 변경을 통한 공정 모사

1. 현재 설비에서의 압력 변경

현재 설비에서 압력 변경을 통한 공정 모사를 수행하여 에너지 절감 및 운전 가능 여부를 확인하였다. 현재 운전 압력 4.0kg/cm2G에서 단계적으로 1.0kg/cm2G씩 감소하면서 공정 모사를 실시하였으며, 이 때 OVHD Condenser(EA-1103)로 현재 통수할 수 있는 냉각수의 유량은 170ton/h 이므로 공정 모사에서도 냉각수의 유량 170ton/h 으로 일정하게 유지하고 공정 모사를 진행하였다.

Table 4-5 는 Case 별 운전압력 변화에 따른 공정 모사 결과이다. 운전 압력이 2.0kg/cm2G 까지는 감소 가능하였으나, 1.0kg/cm2G 이하는 운전이 불가하였다. 그 이유는 운전 압력 감소에 따른 OVHD Vapor 부피 증가로 인해 현재 설치되어 있는 Column OVHD Stream 열교환기 (EA-1109, EA-1103, EA-1112)의 차압이 증가하여 더 이상 공정 모사가 수행되지 않았다. 그리고 압력 변화에 따른 OVHD Vapor의 유속 증가와 OVHD Vapor 및 BTM Rate 의 온도 감소로 Feed Preheating 열교환기 (EA-1109, EA-1105) 의 LMTD(Logarithmic Mean Temperature Difference) 감소 발생하여 Preheating Duty 가 감소됨을 확인하였다.

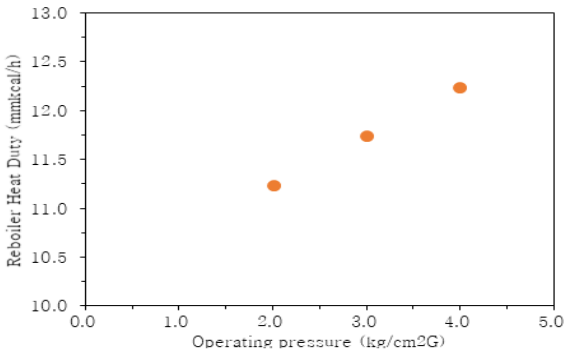
하지만 Figure 4-3에서 보는 바와 같이 현재 운전 압력인 4.0kg/cm2G 에서 2.0kg/cm2G 까지 Reboiler Heat Duty 는 12.24mmkcal/h에서 11.24mmkcal/h로 점차적으로 감소됨을 확인하였으며, 운전 압력 감소로 인하여 약 8%의 에너지 절감을 이룰 수 있었다. 이는 운전 압력 감소에 따른 비점 감소 및 분리 효율 상승으로 Reflux Ratio 와 Reboier Boilup Rate 가 감소하였기 때문이다.

Figure 4-4 에서 보는 바와 같이 OVHD Trim Condenser(EA-1103) 의 냉각수 통수 불량으로 인해 압력 감소에 따라 Vapor Outlet 온도가 상승

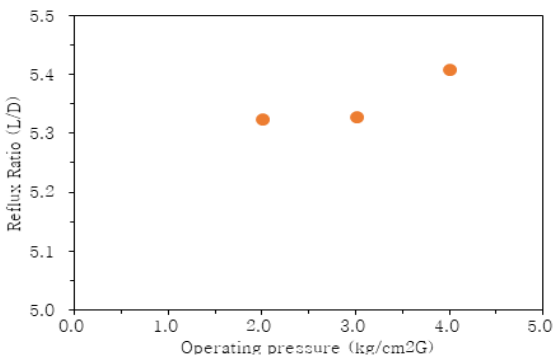
하였으며 이로 인해 Off-Gas 발생량이 증가됨을 확인할 수 있다. Off-Gas 중에 Benzene 함량이 증가됨을 확인할 수 있었는데 이는 충분이 냉각되어 Distillate 로 분리되어져야할 Benzene 이 Off-Gas 에 포함되었기 때문에 Benzene Loss 량이 증가되었다.

Operating Pressure (kg/cm2G)	Case 1 4.0	Case 2 3.0	Case 3 2.0	Case 4 1.0
OVHD Temperature (℃)	141.0	132.1	121.5	error
BTM Temperature (℃)	214.6	203.8	190.9	
Reflux Ratio	5.41	5.33	5.32	
Reboiler Boilup Rate (ton/h)	175.0	163.1	151.2	
Reboiler Heat Duty (mmkcal/h)	12.24	11.75	11.24	
OVHD Volume Flow (m3/h)	7555.7	9164.1	11886.5	
OVHD Exchanger Total ΔP (kg/cm2G)	0.64	0.85	1.48	
Preheating Duty (mmkcal/h)	10.41	9.22	7.82	
EA-1103 Outle Vapor Temperature (℃)	56.2	58.4	64.5	

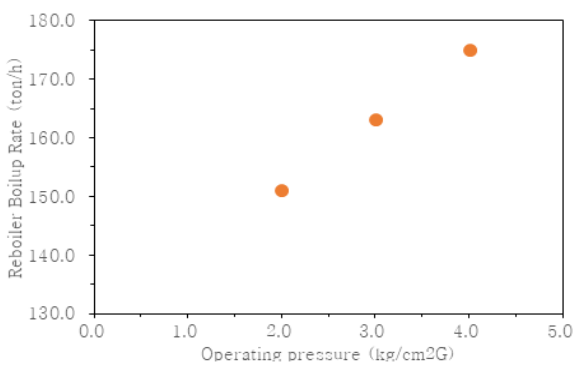
Table 4-5. Simulation results for the effect of DeC7 Column operating pressure



(a)

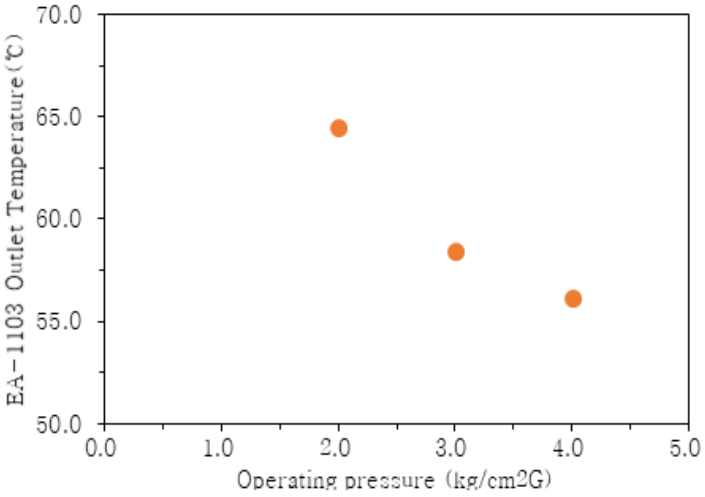


(b)

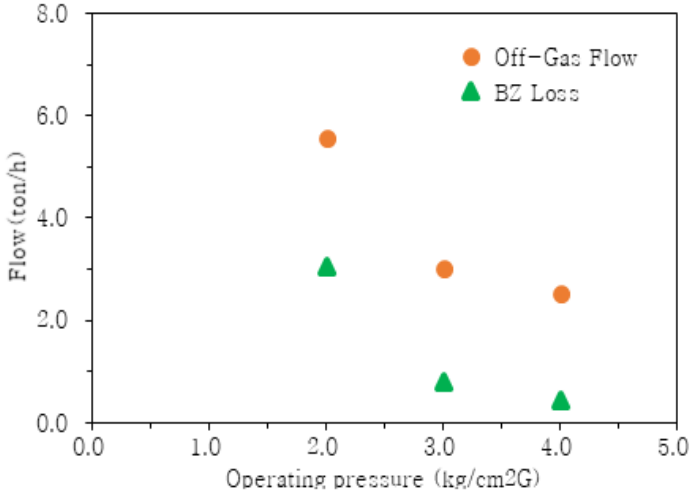


(c)

Figure 4-3. Effect of DeC7 Column operating pressure on (a) the reboiler heat duty, (b) the reflux ratio, (c) the reboiler boilup rate



(a)



(b)

Figure 4-4. Effect of DeC7 Column operating pressure on (a) EA-1103 outlet temperature and (b) benzene loss flow

2. OVHD TRIM CONDENSER(EA-1103) 정상화 시 압력 변경

현재 OVHD Trim Condenser(EA-1103) 통수 불량에 따라 Off-Gas 및 Benzene Loss 량의 증가를 확인하였음으로 EA-1103 정상화(신규 설계 및 제작)하여 열교환기 Outlet 설계 온도인 50℃를 유지할 경우 압력 변경시 DeC7 Column 운전 조건 및 에너지 변화를 추가적으로 검토하였다.

앞에서 OVHD Vapor Stream 의 열교환기 차압 증가에 의해 운전 압력을 1.0kg/cm2G 까지 감소하지 못함을 확인한 바 있다. 그 중 OVHD/FEED EXCHANGER(EA-1109)에서 대부분의 압력 손실을 발생하였고, 1.0kg/cm2G 까지 압력 감소하였을 경우 OVHD Vapor의 온도가 105.0℃ 수준으로 Feed 온도 95℃ 와 차이가 크지 않음으로 EA-1109 를 압력 손실이 적도록 설계하여 설치하더라도 열교환 효율은 낮음으로 EA-1109 를 Bypass 하여 공정 모사를 실시하였다. 그리고 배관 및 열교환기의 Friction Loss 를 감안하여 최종 압력을 0.3kg/cm2G 까지만 낮추어 공정모사를 실시하였다.

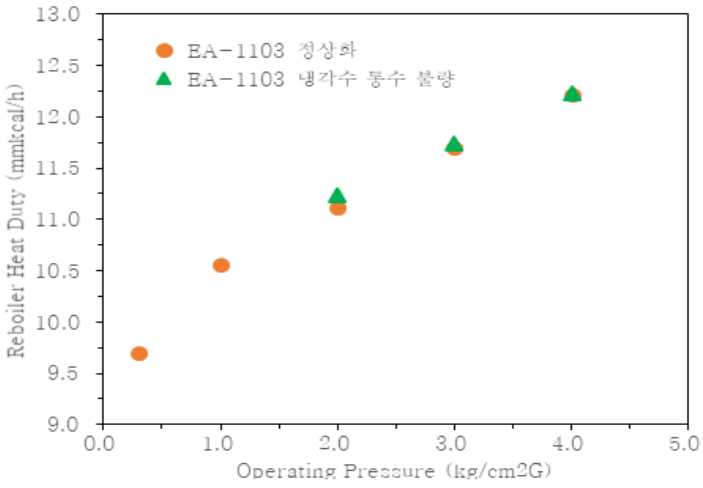
Table 4-6 은 EA-1103 열교환기 정상화 시 Case 별 운전압력 변화에 따른 공정 모사 결과이다. 현재 설비에서의 압력 변경을 통한 공정 모사 결과와 마찬가지로 압력 감소에 따른 Reboiler Heat Duty 감소를 확인할 수 있었다. 4.0kg/cm2G 에서 0.3kg/cm2G 까지 압력 감소하였을 시 약 2.5mmkcal/h 만큼의 에너지 절감 효과를 이룰 수 있었다.

Figure 4-5에서 보는바와 같이 EA-1103 Outlet 온도를 설계 온도 50℃ 로 유지하더라도 현재 설비에서 압력 감소와 마찬가지로 압력 감소에 따라 Benzene Loss 량은 증가되었다. 이는 온도는 동일하지만 압력이 감소함에 따라 Flash 되는 Benzene 양이 증가하였기 때문이다. 하지만 동일 운전 압력 조건에서 응축 온도 50℃를 유지할 경우, EA-1103 냉각수 통수 불량인 경우 대비하여 Benzene

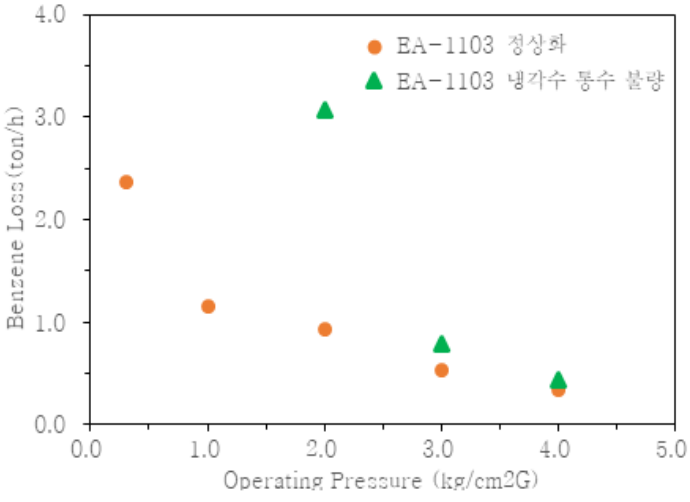
Loss 량 감소의 긍정적 효과를 얻을 수 있었으며, Reboiler Heat Duty 도 소량 감소함을 확인 하였다.

Operating Pressure (kg/cm2G)	Case 1-1 4.0	Case 2-1 3.0	Case 3-1 2.0	Case 4-1 1.0	Case 5-1 0.3
OVHD Temperature (℃)	140.6	131.5	120.4	105.0	90.8
BTM Temperature (℃)	214.6	203.8	190.9	174.8	160.0
Reflux Ratio	5.29	5.15	4.98	4.79	4.72
Reboiler Boilup Rate (ton/h)	174.9	162.5	149.5	137.1	122.4
Reboiler Heat Duty (mmkcal/h)	12.21	11.70	11.11	10.56	9.70
OVHD Volume Flow (m3/h)	7435.8	8946.9	11345.4	15993.4	23349.0
OVHD Exchanger Total ΔP (kg/cm2G)	0.56	0.69	0.81	0.14	0.23
Preheating Duty (mmkcal/h)	10.40	9.20	7.78	5.87	4.72
EA-1103 Outlet Vapor Temperature (℃)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0

Table 4-6. Simulation results(Normalization of OVHD Trim Condenser) for the effect of DeC7 Column operating pressure



(a)



(b)

Figure. 4-5. Effect of DeC7 Column operating pressure on (a) reboiler heat duty and (b) benzene loss flow

제 3 절 DeC7 Column Internal Check

압력 감소에 따른 에너지 절감을 확인하였음으로 Column 내부 Internal 의 Hydraulic 및 성능을 확인하여야 한다. Aspen Plus 기능 중 Internal Condition 정보를 제공하여 기존 Tray 의 Rating을 확인할 수 있는 기능이 있다. DeC7 Column 정상 상태 모사 시부터 Internal 정보를 제공하여 공정 모사를 진행하였음으로 압력 변화에 따른 Column Internal Hydraulic 결과를 확인하였다.

압력 감소에 따라 부피가 증가하여 Column 내부의 vapor 유속이 빨라지게 됨으로 이에 따른 Tray 의 Capacity 한계는 Flooding 과 Blowing 에 의해 설명되어질 수 있다.

Koch-Glitch 에서는 Flooding 을 85% 이하를 추천하고 있으며, Blowing 방지를 위해 Liquid Loading 이 5GPM/ft 이상은 되어야 한다고 한다. [11]

Column Internal Hydraulic 결과, Table 4-7에서 보는 바와 같이 Koch-Glitch 에서 추천하는 사항에 대해 Case 모두 만족함으로 Tray 의 Hydraulic 에는 문제에 따른 Performance 저하는 없음을 확인할 수 있었다.

		Tray	Max. Flooding	Min. Liquid Loading
Koch-Glitch Recommend			< 85%	> 5GPM/ft
Case 1-1	4.0	1~20	45.1	40.4
		21-56	73.0	57.9
Case 2-1	3.0	1~20	44.0	37.2
		21-56	72.1	55.0
Case 3-1	2.0	1~20	43.2	7.6
		21-56	71.6	11.8
Case 4-1	1.0	1~20	43.2	29.5
		21-56	72.9	48.6
Case 5-1	0.3	1~20	45.3	26.8
		21-56	72.9	45.2

Table 4-7. Effect of DeC7 Column operating pressure on Max. flooding and Min. liquid loading

제 4 절 Benzene Loss 감소 방안

압력 변경에 따른 에너지 절감 효과 및 기존 Column Internal 활용 가능을 확인하였으므로 Benzene Loss 량 증가를 감소할 수 있는 방안이 필요하다. 그래서 Cooling Water(32℃) 보다 온도가 더 낮은 Chilled Water(7℃) 를 사용하여 Off-gas 온도를 45.6℃에서 10℃까지 감소함으로서 Off-Gas 를 응축하여 Benzene 을 회수하는 최적화 작업을 수행하였다. 그 결과 Table 4-7 에서 보는 바와 같이 2.0 ton/h 를 추가 회수할 수 있었으며, 현재 운전 시 Benzene Loss 량(0.44ton/h) 대비 하여서도 소량 감소함을 확인하였다.

	Case 5-1 Chilled water 미사용	Case 5-2 Chilled water 사용
Operating Pressure (kg/cm2G)	0.3	0.3
Off-Gas Temperature (℃)	45.6	10
Benzene Loss (ton/h)	2.37	0.37

Table 4-8. Effect of chilled water on benzene loss

제 5 장 공정 최적화 및 경제성 평가

제 1 절 최적화 방안 및 설계

압력 감소에 따른 에너지 절감을 위해 검토한 결과를 바탕으로 추가적인 설비 보완이 필요로 하다. 설비 보완 및 변경 사항은 아래와 같으며, 최종 DeC7 Column Flow Process 는 Figure 5-1 과 같다.

첫째, OVHD Vapor를 충분히 응축시키기 위해서는 현재 통수 불량인 Condenser(EA-1103) 교체가 이루어져야 한다. 둘째, 압력 감소에 따른 Benzene Loss 증가를 대비하여 Chilled Water 사용을 위한 신규 열교환기(EA-1112B) 및 냉동기 설치가 필요하다. 셋째, 압력이 감소된 Off-Gas를 이송하기 위한 Compressor 설치가 필요하다. 넷째, 압력 감소로 인하여 부피가 증가되어 OVHD 배관 Size 변경이 필요로 하다.

열교환기 2기(EA-1103, EA-1112B)에 대한 Design 은 TEMA code 에 준해 Aspen Exchanger Design & Rating Program 을 이용하여 Thermal Rating 을 실시하였다. Compressor 와 Chiller Design 은 Data Sheet 작성하여 설계 의뢰 진행하였다.

OVHD 배관은 기존 16inch 를 사용할 경우 유속이 55m/s 로 너무 빨라져 압력 손실 및 진동의 문제가 발생할 뿐만 아니라 배관 내 압력 손실에 따른 DeC7 Column 운전 압력 감소에도 제한을 받음으로 유속 25m/s 이하가 되도록 24inch 로 배관 Size 변경하여 배관 설계 진행하였다.

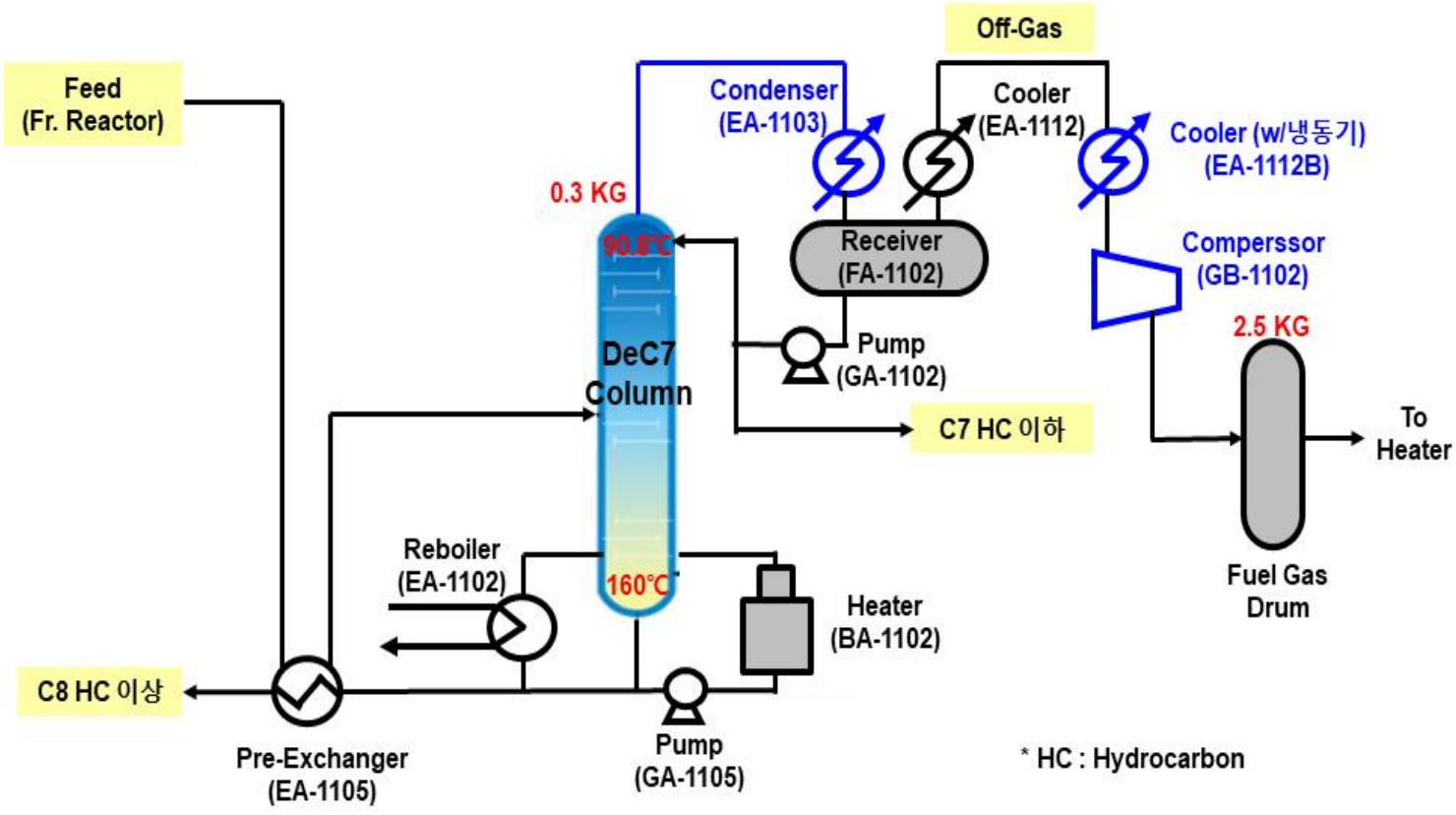


Figure 5-1. Flow diagram after optimizing DeC7 Column

Item	Unit	Description	TEMA Type	Dimension (Shell ID x Tube Length)	Tube No.	Surface Area
EA-1103	1	OVHD TRIM CONDENSER	AES	1525mm x 6000mm	1271 ea	576.6 m2
EA-1112B	1	OFF GAS COOLER	BEM	540mm x 5250mm	391 ea	121 m2

(a) Exchangers

Item	Unit	Description	Type	Stage	Design Flow	Differential Pressure	BHP
GB-1102	1	OFF GAS COMPRESSOR	Turbo	#3	2000NM3/H	4 KG	191 kW

(b) Compressor

Item	Unit	Description	Type	Chilled Water Temperature	Capacity	Power Consumption
R-1101	1	Chiller	Water Cooling Screw	7℃	100 usRT	55 kW

(C) Chiller

Table 5-1. Design of additional equipment

제 2 절 경제성 평가

압력변화에 따른 에너지 절감 효과 및 상압 운전에 따른 추가 설비 Design 을 실시하였으므로 투자에 따른 경제성 판단을 하기 위해 효과 금액 및 투자비 검토를 진행 하였다.

공정 최적화 효과 파악을 위해 Heat Duty 감소량을 현재 연료로 사용하는 LNG 기준으로 절감량 및 절감 금액으로 환산하였으며, Chilled Water 40ton/h 를 생산하기 위한 냉동기와 Off-Gas 를 Fuel Gas Drum 으로 이송하기 위한 Compressor 의 추가 전력비를 고려하여 효과 금액을 파악하였다. 이때 가동 일수는 년간 평균 가동 일수인 357일 적용하였으며, 적용 단가는 2017년 상반기 평균 단가를 기준으로 하였다. 그리고 투자비는 앞서 진행한 설비 설계를 바탕으로 제작 업체에게 견적 의뢰하여 받은 견적가 기준이며, 공사비는 공사 물량 산출에 따른 개략 공사비를 적용하였다.

Table 5-2 에서 보듯이 공정 최적화 후 기존 대비 LNG 사용량이 274NM3/h 감소하였으며, 이에 따른 연료비 절감 효과는 년간 1,361백만원이다. 상압 운전을 위한 추가 설비인 Compressor 와 Chiller 의 전력 사용량 246kWh 로 인해 년간 추가적인 전력비 291 백만원이 발생하였다. 그래서 공정 최적화로 인한 총 효과 금액은 년간 1,142백만원이다. 총 투자비는 2,700백만원이며, Table 5-4 에 세부 투자비 내역을 나타내었다. 투자비 대비 효과금액(회수 기간)이 2.4년으로 당사 에너지 절감 투자 기준인 회수 기간 5년을 적용할 경우 충분히 투자할 가치가 있다고 판단된다.

그리고 Table 5-3 에서 보듯이 배출권 거래제와 관련된 CO2 발생량 감소에 따른 CO2 년간 절감 금액 96백만원을 효과 금액에 반영할 경우 회수 기간은 2.2년까지 감소하게 된다.

이외에 매년 한국은행에서 발표하는 산업연관표의 기계 및 장비 취업유발계수 “9.1명/10억원”을 적용할 경우 투자비 2,700백만원에

대하여 26.5명의 고용창출효과를 볼 수 있다.

구분	User		단위	As-Is	To-Be	차이	비고
Fuel (As LNG)	Heater	Heat Duty	mmkcal/hr	12.24	9.70	2.54	LNG 열량 : 9,240kcal/NM3
		유량	NM3/H	1,324	1,050	274	
		금액	백만원/년	6,581	5,219	1,361	LNG 단가 : 580원/NM3
Power	Chiller	전력량	kWh		55	▲ 55	
	Compressor	전력량	kWh		191	▲ 191	
	Total	금액	백만원/년		219	▲ 219	전기 단가 : 104원/kW
효과 금액			백만원/년			1,142	
투자비			백만원/년	2,700			
회수 기간			년	2.4			

Table 5-2. Economic feasibility of the DeC7 Column optimization

구분	단위	절감량	TOE	tCO2	비고
연료비 (LNG)	KNM3/년	2,347	2,444	5,166	
전력 추가 사용	MW/년	▲ 2,108	▲ 483	▲ 983	
합계			1,961	4,183	
CO2 절감금액	백만원/년			96	단가 : 23,000원/tCO2

Table 5-3. Economic effect of CO2 emission reduction

구분		소요예산 (백만원)	비고
기기 장치비	Exchanger	200	2기
	Compressor	1,800	
	Chiller	100	
	소계	2,100	
공사용 자재비		50	
설치 공사비	배관 & 철골	480	기기설치, 철골, 배관, 보온공사
	전,계장	50	전/계장공사
	소계	530	
설계 및 인허가		20	
합계		2,700	

Table 5-4. Investment cost

제 6 장 결론

제 1 절 요약

이 연구에서는 최근 에너지 및 온실가스 문제에 대한 관심이 높아진 시점에서 다량의 에너지를 사용하는 석유화학 공정에 대하여 최적화 연구를 수행하였고, 이와 함께 공정 최적화에 필요한 설비에 대한 설계를 진행하였다.

대상 설비는 PX 생산 공정 중 Deheptanizer(DeC7) Column 이며, 현재 가압으로 운전되고 있는 Column 을 에너지 절감을 위해 상압으로 운전 가능토록 공정 최적화 작업을 수행하였다. 최적화 작업 전에 Aspen Plus 를 활용하여 실제 공정의 운전 조건에 근접한 정상 상태 공정 모사를 구현하였다. 공정 모사를 수행하기 위한 열역학 모델로는 Peng-Robinson EOS 를 선정하였다.

현재 운전 조건의 공정 모사에서 점차적으로 압력을 감소하였을 경우 OVHD Vapor 부피 증가에 따른 유속 증가로 Condenser 의 열교환 효율이 감소되어 Benzene Loss 량이 크게 증가됨을 확인하였다. 그리고 Condenser 용량 증대를 통해 충분히 열교환하여 Condenser Outlet 온도를 50℃ 유지할 경우에도 압력 감소에 따른 Benzene 의 Flash 량 증가로 Benzene Loss 량이 증가됨을 확인하였다. 이에 대한 대안으로 Cooling Water(32℃) 대비 온도가 낮은 Chilled Water(7℃)를 사용하여 Off-Gas 온도를 10℃까지 감소할 경우 Benzene Loss 량을 감소할 수 있었다.

이를 바탕으로 상압 운전을 위한 공정 최적화를 아래와 같이 제안하였으며, 이에 필요한 설비를 Design 하였다.

1) OVHD Vapor를 충분히 응축시키기 위한 Condenser 교체,
2) Benzene Loss 증가 방지를 위하여 Chilled Water 사용,

3) 압력 감소된 Off-Gas 를 이송하기 위한 Compressor 설치,

4) OVHD Vapor 부피가 증가에 따른 배관 Size 변경.

최적화 공정 모사를 통하여 압력 감소에 따른 2.5mmkcal/h 만큼의 에너지 절감을 이룰 수 있음을 확인하였고, 설비 Design을 통해 최적화를 위한 투자비를 확인하였다. 이를 통해 경제성 분석을 한 결과, 에너지 절감 효과에 따른 이익은 1,142백만원이며 투자비는 2,700백만원으로 회수 기간 2.4년임을 확인하였다. 이는 당사 에너지 절감 투자 기준(회수 기간 5년)을 적용할 경우 충분히 투자할 가치가 있다고 판단된다.

본 연구에서는 기존 PX 공정 중 DeC7 Column의 에너지 절감을 위한 최적화 방안을 제안함으로써 다른 PX 공정에서의 에너지 절감 방안으로 응용될 것을 기대한다.

제 2 절 후속 연구

이 연구를 통해 DeC7 Column 운전 압력 감소에 따른 에너지 절감 효과 파악하였으며, Column 내부의 운전 온도도 감소함을 확인하였다. 이를 바탕으로 현재 고온의 열원이 필요한 경우 사용하는 Fired Heater 대신에 상압 운전에 필요한 열원으로 교체하는 연구가 진행될 수 있을 것으로 판단된다. 상압 운전 시 Column 하부 온도가 160℃ 이므로 10.5kg/cm2G 스팀(포화온도: 185℃)으로 열원을 변경하고 이에 따른 Reboiler 를 설계하면 연료 단가 차이에 따른 공정 최적화를 수행할 수 있을 것이라 생각한다.

그리고 본 연구에서는 Column 의 Feed 단 변경이 어려워 21단으로 일정하게 하여 공정모사를 하였는데 Feed 단 변경 및 Tray Type 변경을 통한 연구를 통하여 추가적인 에너지 절감 및 효율 향상을 검토할 필요가 있을 것이다.

참 고 문 헌

(1) Max S. Peters al., Plant design and Economics for Chemical Engineers, Fifth edition, p335-392, McGRAW-HILL, (2003).

(2) UOP, Parex Manual

(3) UOP, Isomar Manual

(4) Perry, R.H. and Green, D.W. (Editors) (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7th ed.). McGraw-Hill. ISBN 0-07-049841-5.

(5) A. S. Foust et al., Principles of Unit Operations, Wiley, New York, 1960, p.550 ~ 551

(6) J. D. Seader, Ernest J. Henley, D. Keith Roper , Separtion Process Principles : chemical and biochemical operations , Wiley, 2011, p144

(7) Elliot and Lira, “introduction to Chemical Engineering Thermodynamics”, Prentice Hall, 1999

(8) Nguyen Van Duc Long and Moonyong Lee, Advances in Distillation Retrofit, 2017, pp. 176

(9) 조정호, 공정모사에 필요한 열역학, p19~20

(10) D.-Y. Peng, D.B. Robinson, Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals 15 (1976) 59-64.

(11) Valve Tray Design, Koch-Glitch,

(12) H.Z. Kister, Distillation Design, McGrawHill, New York (1992)

(13) 김병직, 아스펜 플러스 공정 모사기 실습, 2010

(14) Stanley I. Sandler, Using Aspen Plus® in Thermodynamics Instruction A Step-by-Step Guide, Wiley, ISBN 978-1-118-99691-1

Abstract

Optimization of Deheptanizer(DeC7) Column for energy saving using Aspen Plus

Lee Dongky

Department of Engineering Practice

Graduate School of Engineering Practice

Seoul National University

Deheptanizer(DeC7) Column is a distillation column that recovers xylene from the isomerized product in the para-xylene(PX) production process. In the past, for the purpose of reducing the initial investment cost, it was designed as a pressurized distillation to reduce the size of the equipment and to supply the off-gas generated from the column to the heater without the compressor. At present, however, pressurized distillation is not considered for reasons such as increase in energy consumption and pyrolysis at high temperature except in special circumstances.

In this study, process modeling was performed to confirm the increase of separation efficiency and energy saving by decreasing operating pressure of DeC7 Column under operation by

pressurization. DeC7 Column was simulated using Aspen Plus V8.8 and the Peng-Robinson equation of state(PR EOS) was applied for the thermodynamic model. Problems of the current facility were identified during pressure change, and process optimization was performed to improve them. Further, a review of additional facilities related to optimization and an economic evaluation for investment decision were conducted. As a result of the study, it was shown that 20% energy saving was possible at atmospheric pressure operation compared to pressurized operation and that the economic efficiency of more than 1 billion won per year can be achieved through process optimization.

keywords : Aspen Plus, Distillation, Para-Xylene, Process Modeling, Process Optimization, PR EOS

Student Number **: 2016-22212**