

# 제 1 주

---

## 화학공정 모사기의 소개

- 1.1 화학공정 모사기란 무엇인가?
- 1.2 화학공정 모사기의 특징 및 장점
- 1.3 화학공정 모사기의 활용방안
- 1.4 화학공정 모사기를 이용한 정유 및 석유화학공정의 에너지 절감방안

## 1.1 화학공정 모사기란 무엇인가?

범용성 화학공정 모사기(General Purpose Chemical Process Simulator)란 화학공정을 열역학을 이용하여 수학적으로 모델화하고 이를 컴퓨터 하드웨어를 이용하여 실제 정유 및 석유화학공장에서 일어나는 상황을 묘사하는 소프트웨어라고 정의할 수 있다. 이러한 화학공정 모사기에 실제 공정에 투입되는 물체의 물성치, 유량 및 운전 조건이 주어지면 실제로 화학공장을 가동하지 않고도 비교적 짧은 시간과 저렴한 비용만으로 실제와 거의 같은 결과를 얻어낼 수 있다. 그 이외에도 실제 공장에서 쉽게 예측할 수 없거나 실험할 수 없는 변수를 임의로 결정하여 테스트할 수 있으므로 빠르고 또 정확하게 결과를 얻을 수 있다. 지난 30여 년간 미국이나 일본 및 유럽 선진 외국에서는 이러한 화학공정 모사기를 이용해서 많은 석유화학 공장들을 설계하거나 개조해 왔다. 우리 나라에서도 최근 10여 년 사이에 많은 엔지니어링 회사 및 조업회사에서 이러한 화학공정 모사기를 도입하여 설계 및 기존 공장의 운전조건 개선에 이용하려는 시도가 이루어지고 있다. 실제로 수년 전 IMF가 한창이던 때에 국내의 한 석유화학사에서는 이러한 화학공정 모사기를 이용하여 자사의 엔지니어들로 하여금 단위 공장에 대한 에너지 절감방안을 내도록 하여 액수로 환산하여 가장 많은 절감방안을 낸 팀에게 휴가와 그룹사의 전자제품을 부상으로 준 사례도 있다.

현재 선진 외국에서 개발되어 전 세계적으로 사용되고 있는 화학공정 모사기는 Aspen Technology사의 ASPEN PLUS, Simulation Science사의 PRO/II, Chemshare사의 Design II와 Hyprotech사의 HYSYS등이 있다. 그림 1.1과 그림 1.2에는 국내의 조업회사와 설계회사 및 학교에서 가장 많이 사용하고 있는 ASPEN PLUS와 PRO/II 공정모사기에 대한 그래픽 화면을 나타내었다. 이들 화학공정 모사기를 잘 이용하면 Pilot Plant나 실제 공장을 가동하지 않고도 공장에서 생산해 내는 제품의 양이나 질을 예측할 수 있으므로 공장의 생산성 향상이나 에너지 절감에 이용할 수 있다.

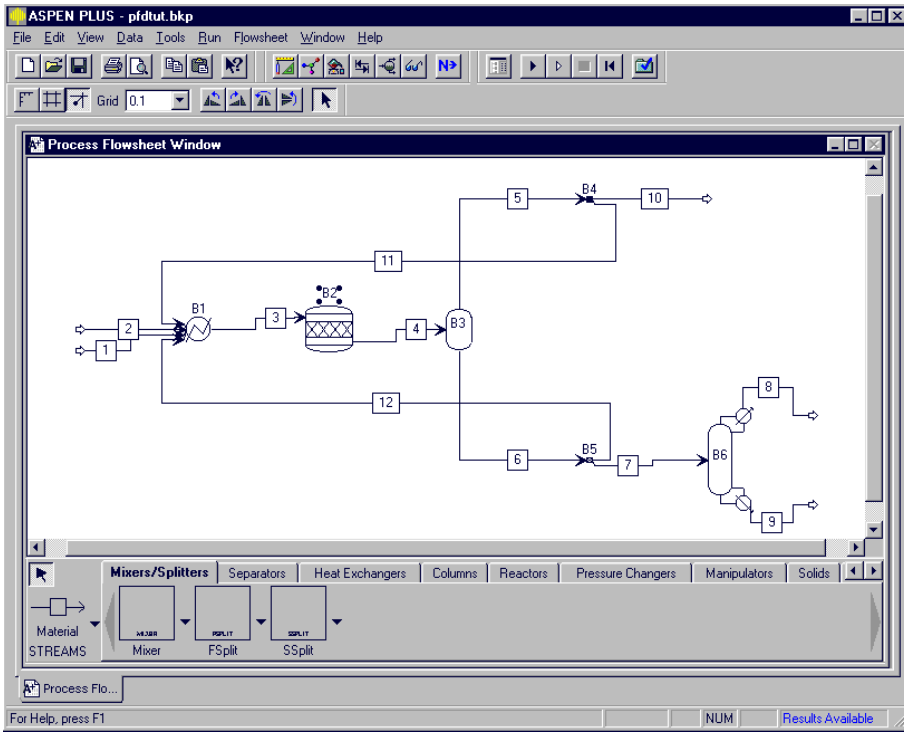


그림 1.1 Grahpic Input for ASPEN PLUS

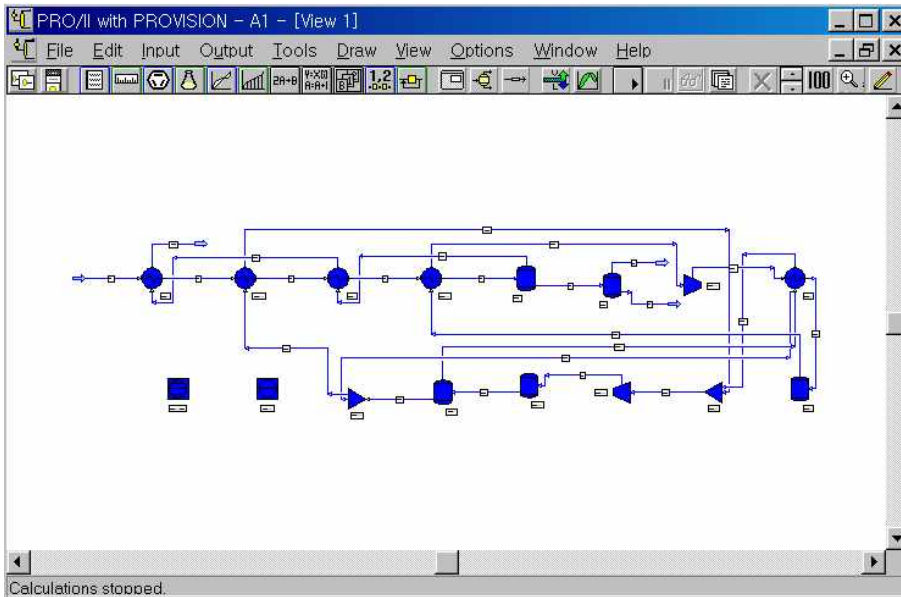


그림 1.2 Grahpic Input for PRO/II with PROVISION

## 1.2 화학공정 모사기의 특징 및 장점

ASPEN PLUS 화학공정 모사기에는 약 1,700개 이상의 순수성분에 대한 데이터베이스가 내장되어 있으며, 60여개의 열역학 모델식과 60여개의 단위조작 장치를 모사할 수 있는 모듈이 내장되어 있다. 다만 화학공장이나 Pilot plant에서는 실제 화학물질을 다루어서 제품을 생산하지만 공정모사기에서는 화학물질의 물성이나 단위조작 장치를 다룰 수 있는 연립방정식을 푸는 것이 차이가 있다. 그림 1.3에는 실제의 화학공정과 공정모사기 사이의 개념적 차이를 도식적으로 표현하였다.

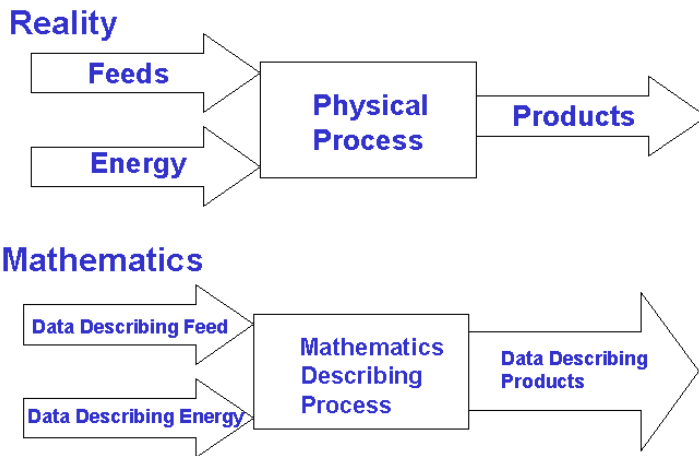


그림 1.3 실제공정과 공정모사기의 차이

우리가 흔히 사용하는 공정모사기인 ASPEN PLUS는 정상상태 공정모사기이고 순차적 접근방식(Sequential Modular Approach)이다.

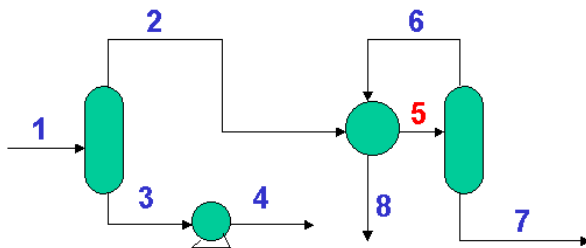


그림 1.4 Sequential Modular Approach

위의 그림 1.4에서 보면 플래쉬 드럼을 풀어야 2번과 3번 stream이 결정되고 그 다음에 열교환기를 풀어서 5번 Stream을 결정해야 하는데 이때 환류유인 6번 stream이 정해지지 않았으므로, 처음에는 6번 stream의 온도, 압력, 유량 및 조성을 초기 가정한 후에 여러번의 recycle loop을 반복해서  $i$ 번째와  $i+1$ 번째 계산시에 6번 stream에 대한 온도, 압력, 유량 및 조성이 오차범위 안에 들어야만 반복계산을 멈추게 된다. 한 개의 플래쉬 드럼을 푸는 데만 해도 여러번 시행오차를 거쳐야 하기 때문에 이와 같이 환류액이 있는 공정은 공정모사기를 사용하지 않고는 거의 풀 수 없다. 또한 공정모사기를 사용하는 것이 Pilot plant를 가동하는 것보다 비용이 훨씬 적게 든다. 증류탑 한 개를 Pilot scale로 만들 경우 최소한 수천만원의 비용이 소요된다. 그리고, 실험을 수행하는 장소와 시간 및 실험자에 따라서 결과가 조금씩 다르게 나오지만 공정모사기의 경우에는 시간, 장소 및 사용자에게 관계없이 언제나 같은 결과를 도출하며 여러개의 공정을 모두 모사할 수 있는 장점이 있다. 그리고, 공정모사기를 잘만 사용하면 경험이 없는 엔지니어를 교육 훈련하는데도 사용할 수 있다. 현장 엔지니어의 경우에도 자신이 담당하고 있지 않은 공정에 대해서도 얼마든지 공정모사기를 통하여 그 공정의 특성을 파악할 수 있다. 따라서 공정모사기를 잘 사용하면 경험 많은 엔지니어와의 격차를 줄일 수 있는 역할도 하게 되는 셈이다.

### 1.3 화학공정 모사기의 활용방안

앞 절에서 언급한 화학공정 모사기 중 국내에서 가장 많이 활용하고 있는 ASPEN PLUS와 PRO/II인데 이러한 화학공정 모사기는 보통 영구적으로 판매하지는 않고 대개는 3년에서 5년 단위로 리스(Lease)의 형태로만 각 회사들에 공급하고 있다. 기업에서 사용하는 경우 그 대여가격은 보통 컴퓨터 한 대에 미화로 약 3만불에 이르고 있으며 각 회사당 적게는 몇 개에서 십여개에 이르는 Security Key를 보유하고 있으며 또한 이 화학공정 모사기를 잘 다루는 엔지니어를 육성하기 위해서 많은 시간과 돈을 투자하고 있는 실정이다. 설계회사나 조업회사들이 공정모사기의 도입이나 엔지니어 교육에 이처럼 매년 많은 돈을 투자하고 있는 이유는 다음과 같다. 설계회사에서는 보통 대규모 화학공장의 설계를 턴키방식(화학공장의 설계, 구매, 건설 및

시운전 모두를 일괄적으로 수주하는 방식)으로 수주하기를 원하는데 석유화학 Complex의 경우에는 보통 건설비용이 수억 달러에 이르므로 화학공정 모사기를 얼마나 잘 활용하느냐의 여부에 따라서 공장 건설 비용의 수천만 달러는 절약할 수 있으므로 이를 적극적으로 활용하고 있다. 또한 화학공장설계 입찰조건에 특정 화학공정 모사기를 사용해서 공장으로 설계할 것을 사업주 측에서 요구하는 경우가 많이 있으므로 평상시에 모사기를 사용하며 또한 자사의 엔지니어에게 정기적으로 이에 대한 교육에 많은 돈을 투자하고 있는 실정이다. 설계회사 뿐만 아니라 조업회사에서도 공정 모사기를 잘 활용해서 공장의 개조나 처리능력을 확장하는 일을 점검할 수 있으며, 공정모사 결과를 가지고 설계회사나 Licensor 회사와 미팅을 하면 더욱 효과적인 미팅이 될 수 있다. 또한 조업회사에서는 간단한 공장의 개조를 외부 엔지니어링사에 의뢰하지 않고도 자체내에서 보유하고 있는 공정모사기를 이용해서 해결할 수도 있다. 국내의 여러 정유 및 석유화학사에서 이러한 일에 공정모사기를 많이 이용하고 있는 추세이다.

이상은 화학공정 모사기를 효과적으로 활용했을 때 생기는 이득을 기술한 것이고 우리 나라의 실상은 화학공정 모사기를 도입하는 데 많은 돈을 투자하고 있으나 아직도 이에 대한 이용면에 있어서는 투자한 만큼의 효과는 거두지 못하고 있는 실정이다. 그 이유는 여러 가지가 있을 수 있으나 몇가지는 다음과 같다.

첫째, 대학에서 공정모사기 교육을 실시하고 있는 학교가 많지 않다는 점이다. 현재 몇몇 대학에서 공정모사기를 대량으로 도입하여 학부 및 대학원 과정에서 공정모사기 교육을 정규 과목으로 두어 실시하고는 있으나 그 효과는 미미한 편이다. 그 이유는 공정모사기에 대한 인식의 부족과 더불어 이를 정규과목으로 가르칠 만한 전임 교원이나 강사요원이 우리 나라에 많지 않다는 점이다. 이러한 실정이므로 회사에서는 공정모사기 전문가를 양성하기 위해서 수많은 시간과 돈을 투자하게 된다. 보통 신입사원을 교육하여 설계에 직접 이용할 수 있을 정도로 양성하는 데는 필자의 경험상 약 3년간의 전적인 교육 및 투자기간이 소요된다. 공정모사기 한 대당 연간 리스비용이 약 3만 달러(3년간 9만달러)에 이르고 엔지니어를 3년간 다른 일은 시키지 않고 전적으로 교육에만 투자를 해야 하므로 3년간의 연봉과 교육비용 및 컴퓨터와 사무실 임대비용 등을 합산하면 한 사람의 공정모사기 전문가를 양성하기 위하여 수 억원의 비용이 소요되는 셈이다. 따라서 국내의 대학에서 공정모사기에 대한 기초 교

육을 이수한 졸업생을 배출하게 된다면 기업에서 재교육을 하는데 그만큼의 시간이 절약되고 이는 곧 기업의 원가절감효과와 직결될 것이고 이러한 기업들이 모여서 우리나라의 국제 경쟁력 확보로 이어진다고 할 수 있다.

둘째, 선진외국의 경우 공정모사기 전문가는 많지만 그들은 우리말을 전혀 모르고 우리나라의 엔지니어 또한 영어에 익숙하지 못하므로 이들을 초빙하거나 선진국에 가서 배우는 경우에도 투자한 비용에 비해서 교육의 효과는 낮다는 점이다. 외국(주로 미국)의 공정모사기를 만든 회사에 교육 출장을 보내는 경우 왕복 비행기 값과 호텔 체제비용 등을 제외한 순수한 교육비용이 2주일에 1인당 약 3천달러에 이른다. 언어차이에 의한 의사소통의 어려움으로 인하여 이러한 단기간의 해외출장연수를 통해서 얻은 지식을 실제 공장설계에 이용하는 경우는 거의 없으며 단지 교육시에 받은 매뉴얼을 회사의 자료실에 비치한다든가 회람을 통하여 각자 복사하여 나누어 갖는 정도로 끝내는 경우가 대다수이다.

셋째, 우리 나라의 설계 및 조업회사에서 국내 설계 기술을 신뢰하고 있지 않다는 점이다. 우리나라의 설계 및 조업회사에서 공장을 설계하거나 조업하는 데 이용할 수 있는 Tool은 잘 갖추고 있다. 하지만 이를 잘 활용하지 못하는 이유는 바로 국내의 기술을 신뢰하지 않고 외국의 기술을 지속적으로 도입하고 있으므로 수많은 비용이 추가적으로 유출되고 있다. 그 결과 국내의 기본설계 기술은 여전히 낙후성을 면치 못하고 있다. 하나의 예로써 방향족/비방향족 혼합물 중에서 용매를 사용해서 방향족 성분을 추출해 내는 공정을 들 수 있다. 이 공정은 용매의 이름을 따서 Sulfolane 공정이라고 이름 지어져 있다. 현재 Sulfolane 공정은 국내에서 10여개의 Unit이 정유 및 석유화학공장에서 가동되고 있다. 국내의 경우 이 Sulfolane 공정을 새로 설계하거나 확장 또는 개조하기 위해 이 공정을 모사할 수 있는 능력을 가진 엔지니어링 회사는 많지 않다. 따라서 조업회사에서는 기본적인 설계 데이터를 확보하고 있지 않으므로 원료가 바뀌거나 운전조건이 바뀌어서 문제가 생기면 외국의 전문가를 불러와야 하는데 체제비와 왕복 항공료와 하루당 약 1,500달러의 비용을 지불해야 한다. 이에 대한 공정모사를 하기 위한 기초자료 및 모사능력은 중국의 국영 석유화학회사인 사이노펙 사도 또한 갖추고 있는데 공정진단을 위한 공정 모사기술의 노하우 제공에 미화로 약 5만불을 요구하고 있다. 따라서 우리나라에서도 이러한 공정모사 능력을 갖춘 엔지니어의 육성 및 이러한 노하우의 축적이 절실히 요구된다고 하겠다.

## 1.4 화학공정 모사기를 이용한 정유 및 석유화학공

### 정의 에너지 절감방안

최근 들어 국제 원유가의 대폭적인 인상으로 인하여 원유의 전량을 수입에 의존하는 우리나라는 석유화학제품의 국제경쟁력 제고에 커다란 타격을 입지 않을 수 없게 되었다. 석유화학 산업의 특징상 에너지 다소비 공정이 주를 이루므로 본 절에서는 국내에서 가동중에 있는 정유 및 석유화학 관련 단위공정을 대상으로 범용성 화학공정 모사기를 사용해서 공정개선을 통한 에너지 절감을 도모할 수 있는 방안을 소개 하도록 하겠다.

#### ● 원유정제공정에 적용한 에너지 절감방안

국내의 5대 정유사에서 하루에 정제 처리하는 원유는 250만배럴 가량이다. 다음의 표 1.1에는 국내 각 정유사별 하루 원유 처리량을 나타내었다.

표 1.1: 국내 5대 정유회사의 하루 원유정제능력 비교표

정유회사	하루 원유 처리능력	상압 정류탑 보유 기수
SK 주식회사	80만 BPSD	5기
LG Caltex 정유	65만 BPSD	4기
Oil Bank	20만 BPSD	2기
S-oil	55만 BPSD	3기
인천정유	27만 BPSD	2기

그림 1.5는 국내 어느 정유공장의 상압 정류탑을 나타낸 것이고 에너지 절감 방안에 대한 4가지 Case Study 결과를 표 1.2에 요약해 놓았다. 표 1.2에서 Case 1과 Case 2를 비교해 보면 거의 같은 제품의 양을 내면서 Case 2에서는 약 34 MM BTU/Hr의 질 높은 고온의 열(열역학적 관점에서 보았을 때, 같은 양의 열량이라고 하더라도 고



온 상태의 열이 저온의 열보다 가치가 있다.)을 쓸 수가 있다. 이 만큼의 열을 낼 수 있는 스팀의 양은 시간당 약 16톤이 소모되는데 스팀 1톤당 가격이 약 10,000원 정도 이고 연간 8,000시간을 조업한다고 했을 경우 Case 2는 Case 1에 비해서 연간 약 12 억원 이상의 절감효과를 보는 셈이다.

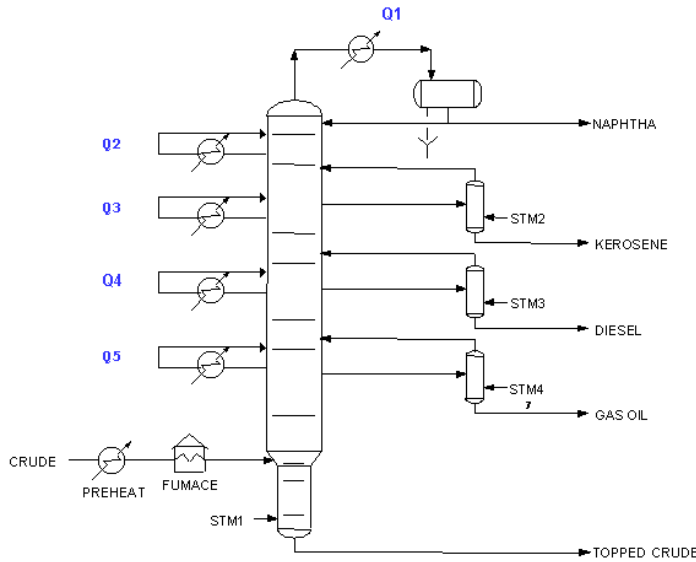


그림 1.5 원유정제를 위한 상압 정류탑

표 1.2: 하루 원유 처리량 6만 배럴 기준 (열량단위: MM BTU/Hr)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Sum	Recovery(%)
Case 1	104	0	15	10	0	129.0	19.4
Case 2	70	26	22	10	0	128.0	45.3
Case 3	70	19	20	20	0	129.0	45.7
Case 4	70	9.6	15	25	10	129.6	46.0

표 1.3: 각각의 Case에 대한 각 Sidecut의 Product Flow Rate (BPH)

	Naphtha	Kerosene	Diesel	Gas Oil	Residue
Case 1	480	213	322	68	1,405
Case 2	478	217	330	69	1,405
Case 3	478	166	399	37	1,420
Case 4	477	140	427	40	1,417

표 1.4: 각 Sidecut의 ASTM D86, 95% 온도 Specification

Product Target	D86(95%)
Naphtha	300 °F
Kerosene	445 °F
Diesel	576 °F
Gas Oil	690 °F

표 1.2에서 Case 3과 Case 4를 비교해 보면 열을 제거하는 장소와 양에 따라서 Kerosene Product의 양이 달라지고 있다. 즉, Kerosene이 Diesel과 값이 차이가 적다면 Case 4는 Pumparound Sidecooler의 열을 제일 잘 쓰는 Case이다. 또한 원유 정제탑의 직경이 Case 1이나 Case 2보다 1" - 6"나 작아도 된다. 또한 Heat Recovery Cost, Heat Exchanger Cost, Product Cost 등을 사용해서 목적함수를 만든 후 Optimizer를 사용해서 문제를 풀 수도 있다. 상기에서 기술한 이러한 작업들을 공정 모사기 없이 수행한다는 것은 완전히 불가능하다.

### ● 방향족 추출공정에 적용한 에너지 절감방안

중질 나프타 성분이 백금촉매 개질공정을 거치면 방향족과 비방향족 탄화수소들이 얻어진다. 이 중에서 방향족 성분을 분리하기 위해서 방향족 성분들과는 선택적으로 상호작용력이 강하고 다른 비방향족 성분들과는 친화력이 없는 Sulfolane 용매를 사용하여 추출하면 추출탑 하부로는 Sulfolane과 방향족 성분들이 얻어지고 추출탑 상부로는 비방향족 성분들이 얻어진다. 이 공정은 미국의 UOP사가 특허권을 가지고 있는 공정인데 공정에 대한 개략도는 그림 1.6에 나타내었다. 이와 같은 방향족 추출공정의 생산성 향상과 에너지 절감 방안의 수립을 위해서는 Feed에 대한 Sulfolane 용매의 최적 비율의 결정이 중요한 인자가 된다. 우선 Feed에 대한 용매의 비가 너무 작으면 방향족 성분을 제대로 추출하지 못하므로 Raffiant에 방향족 성분의 함량이 많아진다. 반대로 용매의 양이 너무 많아지면 용매에 방향족 성분뿐 아니라 비방향족 성분들도 녹게 되므로 Stripper와 Recovery column에서 에너지가 많이 소비된다. 이와 같이 방향족 추출공정의 최적화를 통한 에너지 절감 방안을 수립하기 위해서는 용매와 방향족 및 비방향족 성분들 사이의 상거동을 나타내 주는 실험적인 상

평형 데이터의 확보가 필수적이다. 그러나 기존의 범용성 화학공정 모사기(ASPEN PLUS 또는 PRO/II)에는 이러한 상평형 거동을 나타내 주는 상호작용 파라메타들이 충분히 내장되어 있지 않다. 또 이에 대한 특허권자인 UOP사에서 이들에 대한 상평형 데이터를 문헌상에 공개하고 있지 않고 있기 때문에 이들의 상거동 특성을 나타내는 상평형 데이터의 확보는 용이하지 않다. 물론 UOP사를 대신하여 HRI(Hydrocarbon Research Institute)라든가 중국의 사이노펙 같은 회사에도 이에 대한 특허권을 가지고 있는데 이들 사이의 상거동을 나타내 주는 상평형 데이터와 공정모사까지도 제공해 주지만 그 비용이 50,000불 이상이 소요된다. 필자가 확보한 용매와 방향족 비방향족 성분간의 액액 상평형 데이터(그림 1.7 참조)를 이용하여 국내 어느 석유화학공장에서 가동중인 Sulfolane 용매를 이용한 방향족 추출탑(그림 1.8)에 대한 물질수지 결과를 표 1.5에 나타내었다.

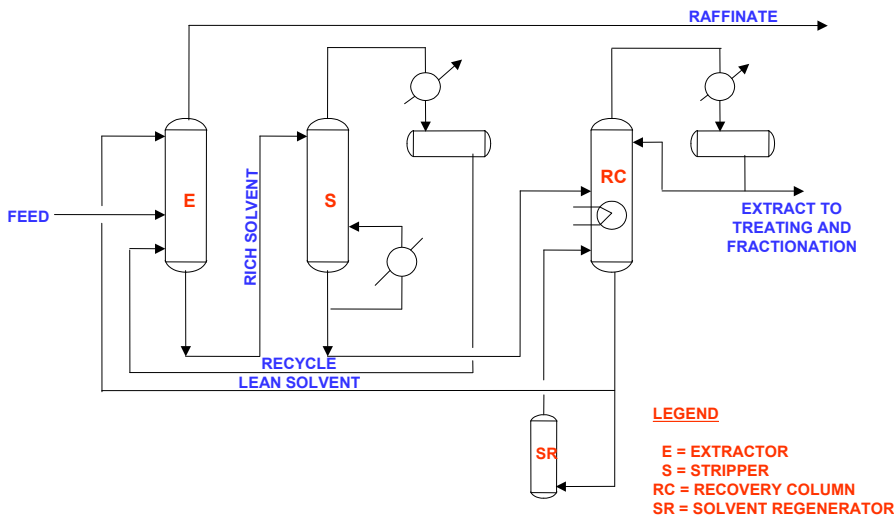


그림 1.6 Sulfolane 용매를 이용한 UOP사의 방향족 추출공정도

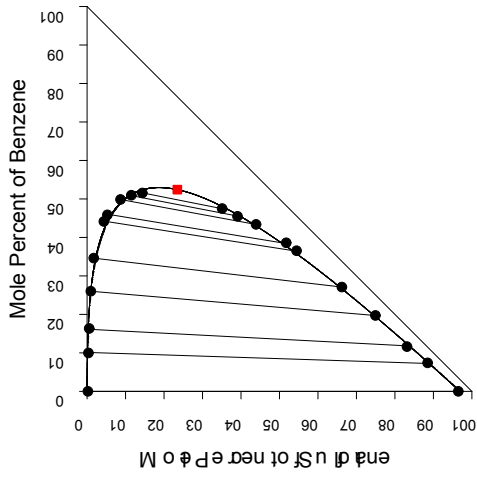


그림 1.7 벤젠/Sulfolane/Cyclo Hexane 사이의 삼성분계 액액상평형도

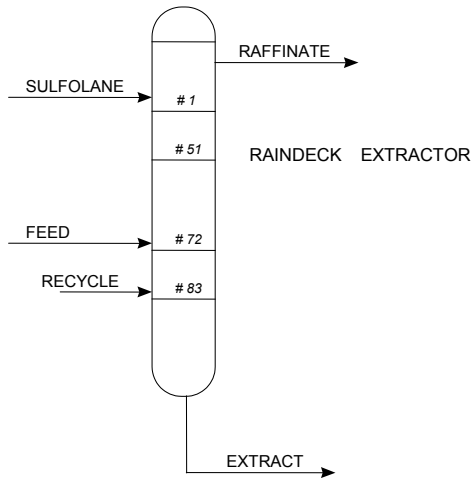


그림 1.8 Sulfolane 용매를 이용한 방향족 추출탑

표 1.5: Sulfolane 용매를 이용한 방향족 추출탑에 대한 물질수지

	Raffinate (Top)		Extract (Bottom)	
	Design	Simulation	Design	Simulation
H <sub>2</sub> O	0.00	0.36	96.55	96.19
Sulfolane	2.58	18.44	2395.62	2379.77
Benzene	0.00	0.00	392.44	392.46
Toluene	0.05	0.00	410.62	410.67
m-Xylene	0.00	0.00	3.60	3.61
Cyclo Hexane	3.86	3.91	3.69	3.64
Methyl Cyclohexane	5.91	6.17	4.10	3.84
n-Butane	0.10	0.10	0.13	0.23
n-Pentane	95.70	95.67	91.44	91.47
n-Hexane	127.31	130.07	88.36	85.59
n-Heptane	29.56	31.31	15.44	13.69
n-Octane	0.00	0.00	0.11	0.11
Kg-mole/hr	256.06	285.93	3502.13	3481.28
Temperature (°C)	93.00	93.00	76.00	7600
Pressure (Kg/cm <sup>2</sup> G)	6.33	6.33	8.79	8.79

### ● 방향족 추출공정에 적용한 에너지 절감방안

방향족 성분을 용매를 사용해서 추출증류하는 공정으로서 NFM (Normal Formyl Morpholine) 용매를 사용하는 공정은 독일의 Krupp Koppers사가 특허권을 가지고 있는 공정으로써 우리나라에는 현재 세 곳의 석유화학사에서 가동중에 있다. 그리고 Sulfolane을 용매로 하는 추출증류공정은 미국의 GTC사가 특허권을 가지고 있는 공정으로서 전 세계에서 최초로 우리나라의 한 정유회사에서 가동중에 있다. 이 두 공정은 용매만 서로 다른 것을 사용하고 있을 뿐 서로 같은 공정이다. 이 공정에 대한 개략도는 그림 1.9에 나타내었다. 본 공정을 모사하고 에너지 절감방안을 수립하기 위해서는 NFM 용매와 방향족 성분가의 정확한 이성분계 기액 상평형 해석과 NFM 용매와 비방향족 성분들간의 정확한 이성분계 액액 상평형 해석이 요구된다. 그러나, ASPEN PLUS나 PRO/II의 데이터베이스에는 NFM 용매에 대한 순수성분조차 내장되어 있지 않은 형편이다. 이 공정을 모사하기 위해서 Joback Method를 사용하여 임계온도와 임계압력을 추산한 후에 Peng-Robinson 상태방정식을 결정해서 이로부터 온도에 따른 증기압 데이터를 산출하였다. 그리고 몇 개의 이성분계 NFM 용매 및 비방향족 성분에 대한 액액 상평형 실험을 수행하고 나머지 이성분계 기액 상평형은

UNIFAC 방법으로 추산하여 표 1.6과 같은 추출증류탑 탑저 제품의 물질수지를 얻었다.

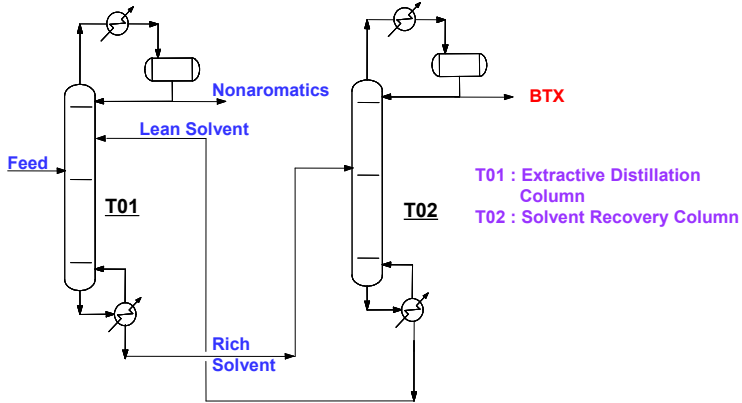


그림 1.9 NFM 용매를 이용한 방향족 추출증류공정 개략도

표 1.6. NFM 용매를 이용한 추출증류탑 하부에서의 물질수지

Component	BTMS, Rich Solvent	
	Design	Simulation
Normal Pentane	0.0	0.0
Normal Hexane	0.0	0.0
Normal Heptane	0.0	0.0
Normal Octane	7.0	7.3
Cyclo Pentane	0.0	0.0
Cyclo Hexane	0.0	0.0
Methyl Cyclopentane	0.0	0.0
Methyl Cyclohexane	1.5	2.9
Ethyl Cyclohexane	0.5	0.5
Iso Hexane	2.0	0.0
Benzene	13342.0	13343.0
Toluene	2392.9	2392.6
Ethyl Benzene	5.0	5.0
NFM	75626.0	75626.0
Flow (Kg/Hr)	91377.1	91377.3
Temperature (°C)	151.0	158.9

### ● 공비점 분리제를 이용한 무수에탄올 생산공정

물과 에탄올은 보통압력 조건하에서 에탄올이 88mole% 근처에서 공비혼합물을 형성하기 때문에 통상적인 증류방법을 통해서만 순수한 에탄올을 얻어낼 수 없다. 따라서, 제 3의 성분인 공비점 분리제를 추가함으로써 나머지 다른 세쌍의 이성분계 공비온도보다 더 낮은 삼성분계 공비온도를 형성시킴으로써 공비증류탑 탑상으로 삼성분계 공비점 근처의 혼합물을 얻어내고 탑저로는 거의 순수한 에탄올 제품을 얻어내게 되는 것이다. 통상적인 공비증류공정은 그림 1.10과 같이 3기의 증류탑으로 구성되어 있다. 첫 번째 증류탑은 'Concentrator'로써 희석된 에탄올을 공비점 직전의 조성까지 농축시키는 역할을 한다. 두 번째 증류탑은 공비증류탑으로써 공비증류탑 상부 증기는 삼성분계 공비점 근처의 조성을 갖는다. 이 증기류가 응축기를 거치면 경사분리기에서 액액 상분리가 이루어지는데 윗상은 공비증류탑으로 환류시키고 아랫상은 그 다음 증류탑인 'Stripper'로 보내진다. 세 번째 증류탑에서는 경사분리기의 아랫상에 남아 있는 공비점 분리제와 에탄올을 회수하는 역할을 한다. 또한 그림 1.11에는 공비증류탑의 설계 조건을 물-에탄올-공비점 분리제 사이의 삼성분계에 액액 상평형도 상에 나타내었다. 먼저 공비증류탑의 상부 증기조성은  $V$ 가 되는데 이는 그림에서 알 수 있듯이 삼성분계 공비조성 근처가 된다. 이를 경사분리기 온도 조건하에서 응축하면 각각  $R$ 과  $W$ 의 조성을 얻는다. 그림 1.12의 공비증류탑에 대해 물질수지식을 세워보면  $R$ 과  $F$ 는 공비증류탑에 대한 입력이고,  $P$ 와  $V$ 는 출력이다. 따라서 공비

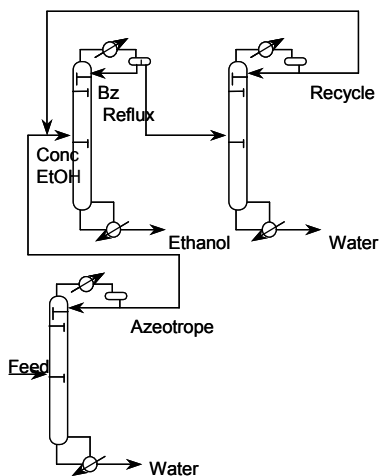


그림 1.10 공비증류공정 (Three-columns configuration)

증류탑에 대한 총괄조성은  $G$ 가 되는데 삼성분계 액액 상평형도상에서의  $G$ 점의 위치가 무수에탄올을 얻어낼 수 있는지에 대한 중요한 열쇠가 된다. 그림 1.11에서 삼성분계 상평형도의 전체 영역을 세부분으로 나누어 놓았는데 총괄조성  $G$ 가 영역  $II$  안에 있을 때만이 순수한 에탄올을 얻어낼 수 있다. 영역  $II$ 안에 놓여 있을 때는 증류탑 하부로 순수한 에탄올과 탑상부로  $D$ 점 근처의 조성을 갖는 생성물이 얻어진다. 반면에 영역  $I$ 에 총괄조성이 있을 때에는 증류탑 하부로 순수한 물이 얻어지고 상부로  $D$ 점 근처의 조성이 얻어진다. 또, 영역  $III$ 안에 총괄조성이 존재하면 탑 하부로 공비점 분리체가 얻어지고 탑 상부로  $D$ 점 근처의 조성이 얻어진다.

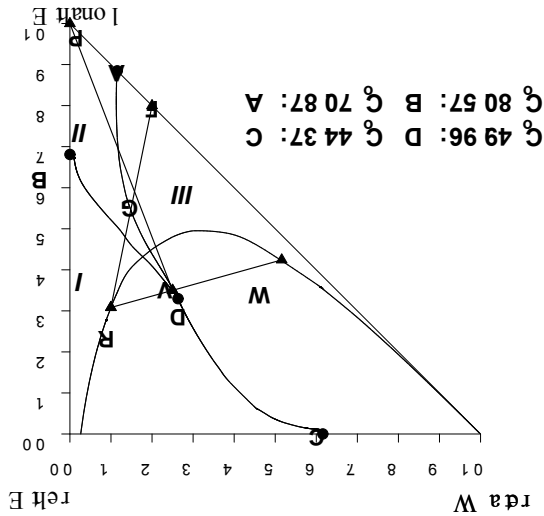


그림 1.11 삼성분계 액액 상평형도와 공비증류탑 설계조건



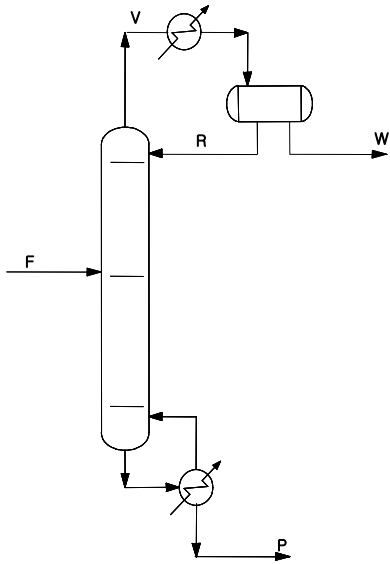


그림 1.12 공비증류탑

그런데 무수 에탄올을 얻어내기 위해서 벤젠이 주로 공비점 분리제로 사용되고 있는데 이는 휘발성유기화합물로서 대기방출에 농도제한을 받는다. 그래서 현재는 대기방출에 대해 환경적 제약도 없고 증류탑도 기존의 3기에서 2개의 증류탑만으로 무수 에탄올의 생산이 가능한 새로운 공비점 분리제로써 노말 펜탄을 사용하는 공비증류공정이 제안되고 있다. 2기의 증류탑만으로 이루어진 공비증류공정은 그림 1.13에 나타내었으며 공비점 분리제로써 벤젠을 사용한 경우와 노말 펜탄을 사용한 경우의 비교는 표 1.7에 자세하게 나타내었다.

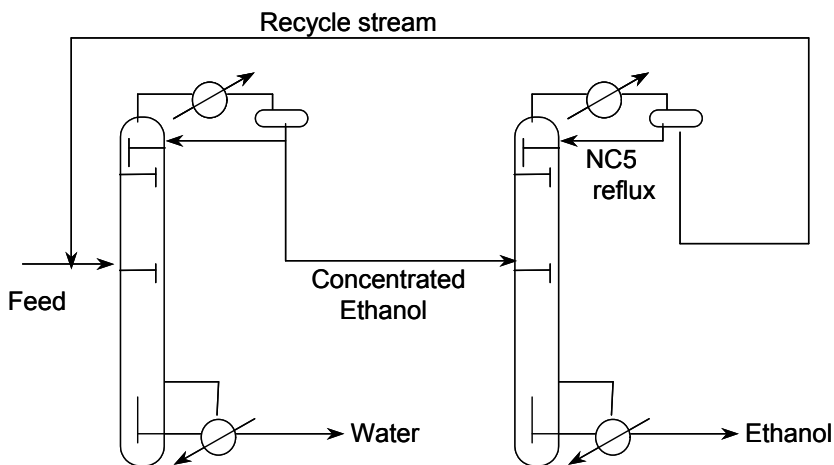


그림 1.13 공비증류공정 (Two-columns configuration)

표 1.7: 에탄올 탈수공정에서 공비점 분리제의 성능비교

	Benzene	NC5
Top Press.	1.38 Kg/cm <sup>2</sup>	3.5 Kg/cm <sup>2</sup>
Entrainer	Benzene	NC5
RRATIO	651 Kgmol/hr	439 Kgmol/hr
Theo. Trays	25	25
Feed Tray	5	5
Reboiler Heat Duty	5.2268x10 <sup>6</sup> Kcal/hr	2.6964x10 <sup>6</sup> Kcal/hr
Condenser Heat Duty	3.3290x10 <sup>6</sup> Kcal/hr	2.8552x10 <sup>6</sup> Kcal/hr
Column Diameter	1600 mm (valve tray)	120 mm (valve tray)
Impurities	Water : 16ppm Benz. : 12ppm	Water < 3ppm NC5 < 1ppm
Ethanol Recovery	99.99 mole %	> 99.99 mole%

	Stripping Column	
Theo. Trays	25	25
Reboiler Heat Duty	2.2512x10 <sup>6</sup> Kcal/hr	0.1543x10 <sup>6</sup> Kcal/hr
Condenser Heat Duties	2.0437x10 <sup>6</sup> Kcal/hr	0.1369x10 <sup>6</sup> Kcal/hr
Total Reboiler Duties	7.7580x10 <sup>6</sup> Kcal/hr	0.1369x10 <sup>6</sup> Kcal/hr
Total Condenser Duties	5.3727x10 <sup>6</sup> Kcal/hr	2.9912x10 <sup>6</sup> Kcal/hr