

청정생산평가를 위한 모사기 개발에 관한 연구 : ECH 생산공정 사례 적용

박영철¹ · 장 옥¹ · 박신정¹ · 홍원희¹ · 이태용^{†,1} · 김영섭² · 윤창한² · 조병남³ · 김연석³

¹ 305-701 대전광역시 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 생명화학공학과

² 305-345 대전광역시 유성구 신성동 6 한화환경연구소

³ 555-210 전남 여주시 평려동 287-9 한화석유화학

(접수일자 : 2002. 12. 10 / 채택일자 : 2003. 1. 17)

Study of Developing Simulation Package for Cleaner Production Assessment : Case Study for ECH Process

Young Cheol Park¹ · Wook Chang¹ · Sin-Jeong Bak¹ · Won Hi Wong¹ · Tai-yong Lee^{†,1}

Young Sub Kim² · Chang Han Yun² · Byong Nam Cho³ · Yeon Seok Kim³

¹ Department of Chemical and Biomolecular Engineering, KAIST, 373-1 Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-701

² Hanwha Eco Institute, 6 Sinseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-345

³ Hanwha Chemical Corp., 287-9 Pyeongryeo-dong, Yeosu, Jeollanam-do 555-210

요 약

청정기술을 석유화학분야에 적용하기 위해서는 주어진 공정에 대한 모사기가 요구된다. 본 연구에서는 주어진 공정에 대한 모사기화 과정에서 반응부분과 재순환 부분에 대한 모사기화 과정을 각각 EA(Ethanol) 공정과 MEK(Methyl Ethyl Ketene) 공정을 예로 들어 설명하였다. 완성된 모사기를 기반으로 여러 가지 개선안을 도출하고 그 개선안들에 대한 타당성 검증을 수행함으로써 청정 기술을 현장에 보급하고 이러한 과정을 지속적으로 유지할 수 있는 환경을 제공하였다.

keywords : 청정생산, 모사기화, ECH 생산공정

ABSTRACT : In order to implement clean technology to Petro-chemical process, simulation package of given process should exist. In this paper, reaction and recycling parts of a process are explained using EA process and MEK process respectively so as to explain how to make simulation package. Based on simulation package, several options are generated and feasibility tests are performed.

keywords : Cleaner production, Simulation package, Epichlorohydrin(ECH) process

1. 서 론

기존에 운전되는 공정에 청정기술[5]의 개념을 도입하기 위해서는 경제적 효과의 고려가 필수적이다. 발생된 오염물질을 어떻게 처리하는가 보다는 보다 적게 오염물질을 발생시키는 것이 경제적으로 유리하다는 판단이 청정기술의 시작이며 자원이용의 효율화 측면에서도 청정기술은 명분이 뚜렷하다. 다만 그 현장적용 방법의 한계극복이 열쇠라 하겠다. 석유화학분야에 있어 청정기술의 개념은 부분적으로 계속되어 왔다. 장치산업의 특성상 제조원가에서 원/부원료의 비중이 큰 이유로 이의 절감방안이 계속 추구되었고, 에너지 다소비 업종인 이유로 에너지 절감의 노력이 추진되었다. 이런 이유로 개선활동은 계속 되었지만 다음과 같은 이유로(역시 장치산업의 특성에 의해) 개선활동에는 많은 어려움이 따른다. 첫째, 생산특성이 초기 설계에 의해 결정된다는 점이다. 각 기업의 보유기술 부족에 의해 대부분의 핵심 기본 설계를 외국 기술에 의존하므로 핵심 장치(특히 반응기의 경우)의 설계에 따라 생산이 결정된다. 설계에 대한 정보 부족으로 결국 개선의 여지가 좁아지며 그 가능성도 낮아지게 된다. 둘째, 장치산업은 장치 교체에 대한 투자비가 크므로 채산성이 떨어질 가능성이 많다. 투자회수 기간의 결정이 투자 여부의 열쇠가 되는 경우가 많은 이유이다. 셋째, 운전 조건 변경 및 방법 변경의 시도가 어려운 경우가 많다. 대부분이 대량생산 체제이므로 제품 불량에 따른 경제적 손실이 크고, 24시간 연속 운전방법을 택하는 경우 장치 변경 등의 작업에 어려움이 따른다. 연속공정의 경우 1회의 공정 조업 중단 후 개시에 따른 경제적 손실 및 어려움은 상상을 초월하는 경우가 많다.

이러한 점들을 해결하기 위한 방안으로 상용 공정 모사기를 이용하여 각각의 단위 장치는 물론 공정 전체에 대한 공정모사 시스템을 구축하는 것을 생각할 수 있다. 이를 통하여, 기존에 운전되는 공정에 대한 물질수지를 분석하고 향후 개선안에 대한 검증이 가능하다. 그러나, 현재 가동 중인 공정에서 ① 반응에 대한 정확한 반응 메카니즘(Mechanism)을 모르는 경우, ② 흡수탑이나 추출탑과 같이 흡수제나 추출제를 사용, 내부적으로 순환함으로써 보충(Make-up)

흐름이 요구되는 경우에는 이와 같은 공정 모사기를 작성하는데 큰 어려움이 있다. 본 연구에서는 이와 같이 공정 모사 시스템을 구성하는데 있어서 어려운 점들을 어떻게 해결할 수 있는지를 간단한 공정예로 들어 설명한다. 이 과정을 사례 적용 공정인 ECH 공정에 적용하여서 모사기를 구현하고 향후 얻어진 개선안들에 대한 검증의 도구로써 사용한다.

2. ECH 생산공정

ECH 생산공정은 그 생산량에 비해 상당량의 폐기물을 만들어내고 있는데, 1986년에 보고된 UNEP 보고서에서는 미국에 있는 Dow 회사와 Shell 회사를 상대로 청정 기술을 도입한 사례를 볼 수 있다[1]. 그 공정과 본 연구에서 대상이 된 공정이 정확히 일치하지는 않지만 각각의 공정들에서 생산되는 폐기물의 양은 대상 공정 역시 그 양이 상당하다고 할 수 있다. 특히, ECH 생산공정에서 주요 폐기물로는 슬러지(Sludge)와 폐유기물이 있고, 그 양이 상당하며 이러한 폐기물과 폐유기물의 양을 줄일 수 있는 청정 기술의 도입이 필요한 상태이다[5].

국내생산량이 연간 약 125,000 톤인 ECH는 에폭시 수지, 합성 글리세린, 계면활성제, 이온교환수지 등의 원료, 섬유 처리제, 가스제, 안정제, 살충·살균제, 의약품 원료, 글리세린 유도체의 합성, 염소화 고무 안정제 등으로 사용된다. ECH는 이중에서 특히 에폭시 수지와 글리세린의 제조에 주로 사용된다. ECH는 프로필렌(propylene)의 고온 염소화 반응을 통해 생성되는 아릴클로라이드(allyl chloride)의 클로리네이션(chlorohydration)에 의해 제조된다. 주 공정은 프로필렌 염소화 반응, 아릴클로라이드 정제공정, 디크로로히드린(dichlorohydrin) 반응, 디하이드로 클로리네이션(dihydro-chlorination)반응, ECH 정제공정, 폐수처리 공정, LIME 공정, 소각로 공정으로 구성되어 있다(Fig. 1). 주어진 ECH 공정에 대한 원자 기준 물질수지 파악을 통하여 각각의 장치에서 물질의 손실이 있는지를 우선 확인한 다음, 주어진 데이터를 이용하여서 상용모사기를 이용하여 모사를 수행한다. 이 과정을 통하여서 본 연구에서 계획한 모사기화를 수행하였다.

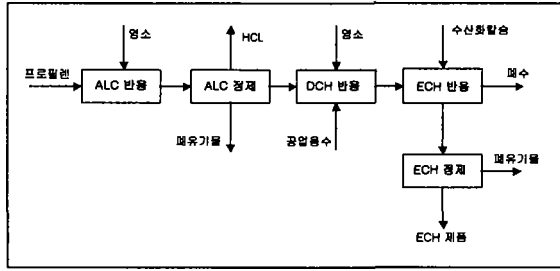


Fig. 1. ECH Process Block Diagram.

3. 모사기화 과정

3.1 반응기

주어진 공정에 대해서 모사를 수행하는 경우, 그 공정의 생산량을 결정짓는 가장 중요한 장치라 반응기라고 할 수 있다. 주어진 반응기에 대해서 그 반응에 대한 양론식이 정확히 주어지고 그 전환율이 정확히 주어지는 경우에는 모사기를 만드는 데 있어서 하등의 어려움이 없다고 할 수 있다. 그러나, 그렇지 못한 경우에 대해서는 부반응에 의해서 생성되는 물질들에 대해서 현장에서 주어진 데이터를 이용하여서 모사를 수행하여야만 한다. 반응식과 전환율을 아는 경우와 그렇지 못한 경우에 대해서 살펴 보도록 하자. 전환율과 반응식을 아는 경우에는 식 (1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$f^{output} = f^{input} + S^T C f^{input} \quad (1)$$

여기서 f 는 성분별 몰 흐름(Molar flow), S^T 는 양론 계수 행렬(Stoichiometry coefficient matrix), C 는 전환율 행렬(Conversion matrix)을 나타낸다. 그 반응식과 전환율을 모르는 경우에는 각각의 수율을 이용할 수 있으면 그 경우에 대해서는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f^{output} = y u^T f^{input} \quad (2)$$

여기서 y 는 몰 분율(Mole fraction), u^T 는 단위 벡터(Unit vector)를 나타낸다. 위의 두 식을 이용해서 현장 데이터를 기반으로 반응기를 모사하는 단계에 대해서 살펴보면,

단계 1. 주어진 데이터를 이용하여서 반응기에서의 각 성분들의 몰 분율을 얻는다.

$$\min \alpha \|f_{out}^{plant} - f_{out}^{calc}\| + (1-\alpha) \|A^T f_{out}^{calc} - A^T f_{input}^{plant}\| \quad (3)$$

여기서 α 는 두 목적함수에 대한 가중치, f^{plant} 는 현장 데이터, f^{calc} 는 계산 결과, A^T 는 성분들 각각의 원자 수를 갖는 행렬(Atom index matrix)이다. 즉 첫 번째 항은 각 성분들의 몰 흐름의 차를 의미하며 두 번째 항은 원자 물질 수지를 의미한다.

단계 2 (3)식의 f_{out}^{calc} 를 이용하여서 반응식을 알고 전환율을 아는 것들은 그 양을 최대화하면서 반응식을 모르는 물질들은 현장 데이터와 일치시킨다.

$$\begin{aligned} \max \|C\| \\ \text{s.t. } f_{out}^{calc} = f_{out}^{calc}(y, C) \end{aligned} \quad (4)$$

위의 두 단계를 거쳐서 주어진 반응기에 대한 모사를 수행한다. 다음의 단계를 거쳐서 반응기를 구현하는데 있어서 다음의 사항을 고려하여야한다. 한 개의 반응기에 전환율과 수율 반응 모델을 함께 사용하는 경우에 반응기 모델은

$$f^{output} = (y u^T + S^T C) f^{input} = A f^{input} \quad (5)$$

로 표시된다. 이러한 경우에 수율 반응기와 전환율 반응기가 series로 연결된 경우 혹은 splitter를 사용하는 경우에도 결국 $f^{output} = B f^{input}$ 형태로 표현될 것이며

$$B = B(y', C) \quad \text{simple series 혹은} \quad (6)$$

$$B = B(y, C, D) \quad \text{splitter(흐름분율기)} \quad (7)$$

와 같은 형태로 표현된다(D는 상부흐름분율). 모든 f^{input} 에 대해서 $f^{output} = A f^{input} = B f^{input}$ 이 성립되기 위하여, 즉 "항등식"이 되기 위해서는

$$A = B \quad (8)$$

Table 1. Material Balance for Reactor in EA Process.

성분	입력	출력
M(Methane)	200	200
EL(Ethylene)	1289	1198.77
PL(Propylene)	268.6	266.71
DEE(Diethyl Ether)	2.41	2.421
EA(Ethanol)	0.56	90.79
IPA(Isopropanol)	0	1.8802
W(Water)	773.4	680.72
CA(Crotonaldehyde)	0	0.1479
합계(gmol/s)	2,533.97	2,441.4391

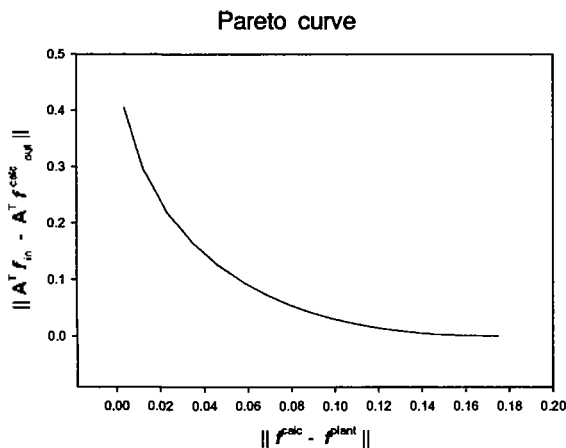


Fig. 2. Pareto Curve at Step 1.

라는 조건이 만족되어야 한다. 그러나, 대부분의 경우 주어진 equality constraint의 수에 비해서 변수의 수가 작아서 이 조건을 만족시킬 수 없다. 즉 시뮬레이터를 사용하여 모사하는 경우, 반응기의 구성을 어떻게 하느냐에 따라서 결과가 달라진다는 것이다.

지금까지 제안된 방법의 타당성을 위해 에탄올(Ethanol) 공정[2]을 예제로 각 단계에 대해서 살펴볼도록 하자. 우선 반응기에서의 입력과 출력의 현장 데이터는 Table 1과 같다. 단계 1을 수행하였을 때 α 에 따른 Pareto optimum 곡선을 얻는다(Fig. 2). 주어진 Pareto optimum 가운데 적절한 α 를 선택하고 이에 기준해서 계산된 결과를 이용하여 단계 2를 수행한다. 여기서는 흐름분율기를 사용하는 경우(Fig. 3)에 대해서 살펴보자. 여기서 반응식을 아는 반응은 다음과 같다.

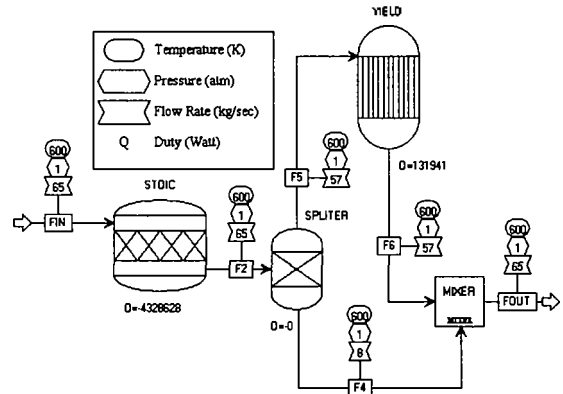


Fig. 3. Reaction System for EA Reactor.

이 반응식에서의 전환율을 최대화하면서 출력되는 흐름의 각각 성분의 양을 제한 조건으로 하여서 단계 2를 수행한다. 각각의 흐름은 최적화를 수행한 결과로부터 그 양을 알 수 있으며 여기서 얻어진 결과를 살펴보면 Table 2와 같고 그 결과를 기반으로 아스펜으로 구현한 결과는 Table 3과 같다. 문헌에 따르면 EL의 경우 0.07, PL의 경우 0.007의 전환율을 갖는다고 나와 있으며 결과에서 볼 수 있듯이 그 결과가 일치하면서 전체적으로 현장 물질수지를 거의 완벽하게 구현하는 것을 확인할 수 있다.

Table 2. Conversion Results using Proposed Procedure.

	M	EL	PL	DEE	EA	IPA	W	CA
R1	0	0.07	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0.007	0	0	0	0	0

Table 3. Stream and Mole Fraction Results using Proposed Procedure

성분	y	$F_{out}(f^{calc})$	f^{plant}	오차
M	0	200	200	0
EL	0.5869	1198.874	1198.77	0.104
PL	0.1958	266.655	266.71	0.055
DEE	0.0031	2.42	2.421	0.001
EA	0	90.789	90.79	0.001
IPA	0	1.879	1.8802	0.0012
W	0.2140	680.692	680.72	0.028
CA	0.0002	0.142	0.1479	0.0059
합계(Mass)	1	64.81	64.81	0

3.2 분리 장치

반응을 통하여서 생성된 물질들에서 우리가 원하는 물질을 원하는 순도로 얻기 위해서는 여러 가지 분리 장치들이 요구된다. 현장에서 운전되고 있는 증류탑의 경우, 상용모사기를 이용하여서 모사를 수행할 때 현재 공정에서의 피제어변수와 조작변수에 대한 데이터를 바탕으로 손쉽게 모사를 수행할 수 있다. 그러나, 흡수탑이나 추출탑과 같이 모사에 있어서 자유도가 0 인 장치들은 어떤 물성치 모델을 사용하느냐에 따라서 그 결과에 많은 차이를 나타낸다. 따라서 분리 장치를 모사하는데 있어서 우선되어야 할 사항은 주어진 공정에 대해서 어떤 물성치 모델을 사용하느냐이다. 물성치 모델을 결정한 다음, 주의하여야 할 사항은 분리 장치들 사이에서 흡수제나 추출제와 같은 물질들이 순환하는 경우이다. 이 경우, 정상상태모사를 수행하는데 있어서 최초로 그 흐름에 초기값을 주고 수행을 하지만, 반복적으로 풀면서 그 양이 감소하며 그로 인하여 보충(Make-up) 흐름이 반드시 필요하다. 보충 흐름을 생성하는 경우, 각 장치에서의 물질 수지를 바탕으로 그 부족한 양을 넣어주게 되는데 이 때 주의하여야 할 것이 물질수지만을 기본으로 보충 흐름을 생성하는 경우 그 모델이 부정확하다는 것이다. 다음의 경우에 대해서 생각해보도록 하자(Fig. 4).

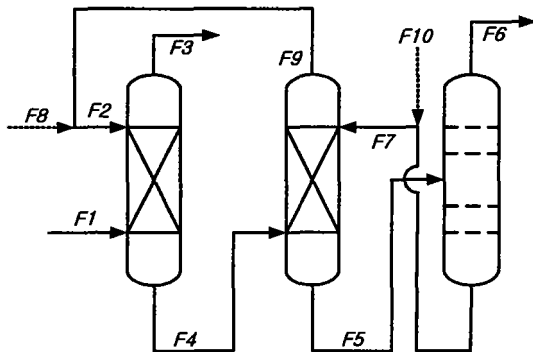


Fig. 4. Process Flow Diagram for Make-up Flow(F8 is make-up flow)

우선 각각의 장치에 대해서 성분별 물질수지를 세워 보면 식 (10)과 같다. 여기서 최초 입력은 흡수제나 추출제 성분을 가지고 있지 않고 F10은 없다고 가정한다.

$$\begin{aligned}
 F2 &= F3 + F4 \\
 F4 + F7 &= F9 + F5 \\
 F5 &= F6 + F1 \\
 F8 + F9 &= F2
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

위 시스템에서 재순환하는 F2의 흐름이 F3과 F6으로 손실이 있는 경우, 그 손실되는 양을 보충하기 위해 F8, 보충 흐름이 필요하다. 이 흐름으로 보충하여야 하는 양을 단순히 물질수지를 이용해서 작성하는 경우,

$$F8 = F3 + F6
 \tag{11}$$

으로 나타내게 된다. 그러나, 이 식은 식 (10)을 잘 분석하여보면, 이미 각 장치의 물질수지식에 포함되는 즉 아무 의미가 없는 식이 된다. 즉, 물질 수지만으로 보충 흐름의 식을 정의하는 경우, 각 장치에서의 물질 수지에 이미 포함되어 있는 식을 반복하여 써줌으로써 실제 재순환으로 인한 손실 양에 대한 보충 흐름의 역할을 하지 못하게 된다. 다음과 같은 상황을 피하기 위해서는 물질 수지식이 아닌 다른 식을 이용하여야 한다. 각각의 장치를 살펴보면, 우선 흡수탑의 경우 흡수제의 양은 들어오는 입력흐름의 양에 의해서 결정되며 추출탑 역시 들어오는 입력에서 피추출제의 양에 따라서 그 추출제의 양이 변하게 된다. 따라서, 위와 같은 보충 흐름의 경우, 물질 수지식이 아닌, 입력되는 양에 따른 흡수제나 추출제의 양을 결정하는 식이 요구된다. 즉, 추출제나 흡수제의 양을 결정하는데 사용되는 비례제어의 개념을 도입하여야 한다. 이러한 경우에 다음과 같은 식을 작성할 수 있다.

$$F8 = aF1 - F2
 \tag{12}$$

여기서 a가 비례 상수의 역할을 한다. 위에서의 상황을 살펴보기위해 MEK 공정[3]을 예로 살펴보자. MEK (Methyl Ethyl Ketone)는 2-부탄올을 원료로 만들어지며 반응기를 통과하여서 생성된 흐름에서 수소를 제거하기위해서 생성물의 20wt% 정도의 기상 흐름을 흡수탑을 통과시킨다. 여기서 흡수제로 물이 사용되며 그로 인하여 물과 2-부탄올을 분리하기위해 추

출입을 사용한다. 여기서 사용되는 추출제는 1,1,2-TCE (Trichloroethane)을 사용하며 이것을 재순환하기위해서 증류탑을 사용한다(Fig. 4). 흡수제 및 추출제가 내부에서 순환하며 이로 인하여 모사에 있어서 보충 흐름을 생성하여야한다. 추출제를 재순환하는 경우에 대해서 물질수지를 이용하여서 보충흐름을 생성한 경우와 비례 제어식을 이용하여서 생성한 경우에 대해서 살펴보자. 추출제를 순환하는 경우에는 그림에서 F10이 존재하게 되고 이 흐름에 대한 모사 결과를 각각 Table 4에 나타내었다. 결과에서 볼 수 있듯이 물질 수지식으로 보충 흐름을 만드는 경우에는 입력 흐름에 대하여 알맞은 추출제의 양을 초기값으로 주었을 경우에 대해서만 그 값이 수렴을 하지만, 비례 제어식을 이용하여서 모사를 수행한 경우에는 추출제의 양이 너무 작거나 너무 많아서 장치의 사이드나 입력 흐름의 양에 비해서 너무 많은 오차가 없는 범위에서 항상 같은 값으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 따라서, 위와 같은 보충 흐름의 상황이 발생할 경우, 물질 수지에 근거하여 보충 흐름을 생성해서나 안 되며 각 장치에 대한 설계에 부합하는 식을 적용하여야 한다.

Table 4. Calculated Solvent Flowrate for Each Initial Value (kg/h).

초기값	물질수지식		비례제어식											
	F7	F10	F7	F10										
600	-	-	898	8.5										
700	700	7	898	8.5										
800	800	7.9	898	8.5										
898.5	898.5	8.5	898	8.5 </tr <tr> <td>900</td> <td>900</td> <td>9.4</td> <td>898</td> <td>8.5</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>1000</td> <td>108</td> <td>898</td> <td>8.5</td> </tr>	900	900	9.4	898	8.5	1000	1000	108	898	8.5
900	900	9.4	898	8.5										
1000	1000	108	898	8.5										

4. 모사 결과

앞에서 만들어진 모사기를 사용하여 ECH 생산공정을 모사한 결과를 비교하기 위해서 모사 결과를 Table 5에 나타내었다. 결과에서 나타낸 것은 현장 생성물 양과 모사되어서 나온 생성물의 양의 차이를 오차(%)에 나타내었다. 오차는 1%미만으로 잘 모사되는 것을 확인할 수 있다.

Table 5. The Difference between Plant/Simulation Data.

OUTPUT		
생성물	비고	오차(%)
ECH		0.14
HCL	35% 염산	0.25
LOSS		0.00
폐유기물	소각	0.01
폐수		0.005

5. 모사기를 통한 개선안 검토

물질수지를 기본으로 현장 데이터를 이용하여서 모사기를 완성한 후, 주어진 공정에 대한 여러 개선안에 대한 검증 단계가 요구된다. 사례 공정인 ECH 공정에 대한 개선안에 대한 설명을 돕기 위해서 한화석유화학의 ECH 생산공정과 유사한 "Ofranika-Zachem"[4] 공정을 기초로 한다(Fig. 5).

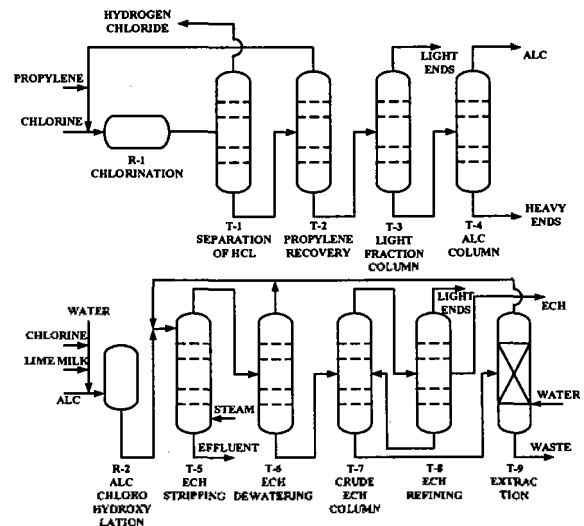


Fig. 5. ECH Process Flow Diagram.

주어진 공정에서 반응에 대해서는 실험실 규모의 실험을 통하여 개선안들을 검증하였다[6]. 이것은 반응에 대한 정확한 메커니즘이 밝혀지지 않았기 때문에 모사를 통하여서 반응을 검증하는 것은 아무 의미가 없기 때문이다. 반응에 대해서는 제안된 방법을 통하여서 그 물질수지를 현장 데이터와 일치하게 구현하였으며, 따라서 분리 정제에서의 여러 가지 개선안에 대해서 그 검증 단계를 수행하였다. 청정의 관

점에서 도출된 여러 개선안에 대해서 살펴보자.

- I-1. T-8에서 Light ends를 T-3 ALC 정제 공정으로 재순환하여 ALC의 양을 증가시켜서 궁극적으로 ECH의 생산량을 증가시키고 소각장으로 보내지던 Light ends의 양을 감소시킨다.
- I-2. T-9 대신에 간단한 Flash 장치를 이용해서 폐기물로 버려지던 유기물을 회수하여 ECH 반응으로 재순환하여서 EDH의 생산량을 증가시키고 폐기물의 양을 감소시킨다.
- I-3. T-7 만을 사용하여서 원하는 순도의 ECH를 생산함으로써 T-8에서의 에너지 사용량을 감소시킨다. 이로 인하여 부가적인 폐기물의 양을 감소시킨다.
- I-4. T-7에서 원하는 순도의 ECH를 생산함과 동시에 Side 흐름으로 폐기물로 가는 유기물들을 분리하여서 T-7만을 이용해서 ECH 생산량을 증대시키는 물론, 탑저로 나오는 유기물을 ECH 반응으로 재순환함으로써 환경적인 기대효과 역시 증대시킨다[7].
- I-5. T-7에서 원하는 순도의 ECH를 생산하여서 높고 있는 T-8을 이용해서 T-7에서 나오는 Heavy한 물질들을 T-8을 이용해서 분리, 폐기물의 양을 줄이고 분리된 유기물은 ECH 반응으로 재순환하여서 ECH의 생산량은 증가시키고 폐기물의 양은 감소시킨다.
- I-6. T-7에서 원하는 순도의 ECH를 생산하여서 새로운 탑을 설계 이것을 이용해서 T-7에서 나오는 Heavy한 물질들을 T-8을 이용해서 분리, 폐기물의 양을 줄이고 분리된 유기물은 ECH 반응으로 재순환하여서 ECH의 생산량은 증가시키고 폐기물의 양은 감소시킨다.

각각의 개선안에 대해 구현된 모사기를 이용하여 그 타당성을 검증한 결과, I-1의 경우는 Light ends에 포함된 성분들 중에 ALC보다도 더 가벼운 물질들의 양이 상당하여 이것을 T-3으로 재순환하는 경우, 오히려 ALC의 순도가 떨어지는 결과를 나타내었다. I-2의 경우는 물리적으로 Flash 장치를 사용해서 원하는 조건으로 유기물들을 분리하기가 어렵다는 모사 결과를 얻을 수 있었다. I-3부터 I-6의 개

선안들은 모사 결과 그 개선안들이 기술적으로는 타당하는 결과를 얻을 수 있었으며 환경적인 면과 경제적인 면을 함께 나타내면 Table 6과 같다. 여기서 볼 수 있듯이 각 개선안마다 얻어지는 효과는 좀 차이가 있지만 궁극적으로 바로 수행할 수 있는 것보다 장기적으로 수행하여야 할 것들을 분류하여 현장에 적용하는 단계가 요구된다.

Table 6. Feasibility Results using ECH Simulator.

개선안	ECH 생산량(%)	폐유기물 감소(%)	에너지 saving (천원/년)
I-3	11	0.4	182,864
I-4	13.43	8.3	168,222
I-5	13.66	7.6	167,731
I-6	13.66	7.6	181,785

6. 결 론

모사기를 구현하는 것은 최초 현장 데이터를 통한 물질수지 분석에서부터 최종적으로 현장 조업데이터와 일치시키는 데까지 모든 과정을 포함한다고 할 수 있다. 주어진 공정에 대해서 모사기의 중요성은 본 연구의 결과에서 볼 수 있듯이 각각의 장치에 대한 물질 수지는 물론, 전체 공정에서의 물질 수지, 각 장치에 대한 현장 조업 데이터를 구현 할 수 있는데 있다. 또한, 이런 모사기를 구현하는 것은 현재 운전되고 있는 공정에 대해서 여러 가지 개선안을 도출하는 것은 물론, 그 개선안들에 대해서 그 타당성을 파악하는데도 그 역할이 크다는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 모사기를 통하여 ECH 생산공정에 대한 개선안들을 십여 개 제안하였으며 각각의 개선안에 대한 타당성 검토 단계를 통하여 그 결과를 보고하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 산하 한국생산기술연구원 산하 한국청정생산지원센터에서 지원하는 '청정생산이전확산사업' 과제의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] UNEP, Waste Minimization Issues and Options, V2, B4-1(1986)
- [2] Biegler, L. T., Grossmann, E. I. and Westerberg, A. W. : "Systematic Methods of Chemical Process Design", Prentice-Hall International, Inc., 39 (1997)
- [3] Austin D. G. and Jeffreys G. V. : "The Manufacture of Methyl Ethyl Ketone from 2-Butanol", Warwick (1979)
- [4] Organika Zachem ("Organika-Zachem" Chemical Works), Bydgoszcz, Poland
- [5] IVAM : "Cleaner Production Manual (CPM)", IVAM(2002)
- [6] Lee C. H. : Effect of Aqueous NaOH Solution on Dehydrochlorination Reaction in Epichlorohydrin Process, 2002 Autumn Conference of the Korean Society of Clean Technology, 322(2002)
- [7] Lee T. : Development of Simulation Package for Cleaner Production Assessment of ECH, 2002 Autumn Conference of the Korean Society of Clean Technology, 184(2002)
- [8] Aspen Plus User's Manual