

내부순환시스템에서의 목록데이터 처리

곽종명 · 윤영운 · 허 탁
(건국대학교 공과대학 화학생명공학부)

Life Cycle Inventory Data Calculation Method for Inner Recurring Process

Jong-myung Gwak · Young-woon Yoon · Tak Hur
(School of Chemical and Biological engineering, Konkuk University)

ABSTRACT

In petrochemical industry, generally inner recurring processes are found. There is a problem to identify and quantify of inputs/outputs for each unit process. Current available methods to solve this problem are to linearize process flows by using cut-off criteria, to uplink offside D/B and to expand system boundary. But, the above methods of cut-off criteria and system boundary proposed ISO or SETAC is appropriate to the linear structure. And, until now, there is no criteria proposed on establishing system boundary per unit process in the inner-circulation system. Then, for this study, we present objective and consistent criteria that are applicable to the inner-circulation system of real process. These are (1) to determinate quantity of input/output by simultaneous equations, (2) to determinate quantity of input/output by double cut-off, and, (3) to operate cut-off criteria at repeating point.

First suggested method is to determinate quantity of input/output by simultaneous equations. It regards an unit process as a factor. Raw materials or materials from offsite D/B is regarded as an constant number. Input flow is regarded as positive(+) and output flow is regarded as negative(-). Second method is to determinate quantity of input/output by double cut-off. It is that cut-off at upstream point which is repeated uplink properly base on the cut-off criteria. Third method is to operate cut-off criteria at repeating point. Considering repeat processes uniformly, cut-off is accomplished at proper repeating point. Then, data collection process is achieved in this boundary. The result is that the three methods proposed is contributed to making reliability on a project results based on the consistency and site-specific data. Especially, inventory quantification on the unit process using simultaneous equations will be able to decrease the error.

Keywords : LCA, LCI, inner recurring process, unit process, Cut-off

요 약 문

일반적으로 석유화학산업에서는 단위공정간에 상호 upstream이 되는 내부순환공정이 흔히 발견되며, 이로 인해 단위공정당 투입물 및 산출물량을 정량화하는 것에 어려움이 발생되게 된다. 현재 이러한 문제의 해결방안으로는 cut-off criteria 또는 외부 D/B와의 upstream의 연결, 시스템 경계의 확장을 통한 순환시스템의 선형화 방법이 있을 것이다. 하지만, 이상의 방법들도 선형구조의 공정에 적용하기 쉬운 방법으로 현재까지 내부순환공정에 적용하기 위한 기준은 제안되지 않았다. 그러므로, 본 연구에서는 (1) 연립방정식을 통해 단위공정의 투입물 및 산출물량을 정량화하는 방법, (2) 이중 cut-off를 통한 정량화법, (3) 반복점에서의 cut-off를 통한 정량화법을 통한 제안을 제시하고자 한다. 이상의 3가지 제안을 통해 연구결과의 일관성을 제공하였으며, 특히, 연립방정식을 통한 단위공정의 정량화는 에러를 감소시킬 수 있도록 하였다.

주제어 : 전과정평가, 전과정목록분석, 내부순환공정, Cut-off

I. 서 론

전과정평가는 제품이나 서비스의 전과정에 걸쳐서 발생하는 투입물 및 산출물을 파악하고 정량화하는 방법으로, 고려대상이 되는 투입물 및 산출물의 출원까지 추적하여 파악된 기본흐름을 토대로 분석하는 특징이 있다. 이 특징은 전과정평가 결과의 총체성을 보장하는 장점도 있지만, 기초흐름파악을 위한 upstream연결로 공정흐름의 순환시스템을 형성하게 되어 각 단위공정별 투입물 및 산출물 정량화에 어려움을 초래하기도 한다.

이러한 순환시스템형성은 대단위 공장내 생산공정 중 유틸리티에 의해서 자주 발생하게 되며, 석유화학산업의 경우는 in-site내의 유틸리티(여과수 제조, 냉각수 제조, 질소 생산, 자체전력생산, 스팀생산 등)가 순환구조를 형성하는 대표적인 사례이다[Fig. 1]. 이러한 구조의 시스템에서 단위공정당 투입물과 산출물을 정량화하기 위해서 upstream을 연결하면 무한반복시스템 형성하게 되어 그 최종점 선정에 어려움을 초래하게 된다. 최종 전과정목표표 작성의 토대가 되는 단위공정별로 데이터를 정량하기 위해서는

관련 데이터를 적절하게 처리하는 것이 필요하다.

예를 들어, Fig. 1에서 보는 바와 같이 보일러(BLR)에서 스팀을 생산하기 위해서는 전기(Elec(in))와 AIR, 보일러수(BFW) 등이 필요하다. 다시 전기생산을 위해 upstream를 연결하면 스팀과 보일러수 등에 대한 연결이 필요하게 되어 시스템 흐름이 순환구조를 형성하게 되며 이 흐름을 도식화하면 Fig. 2와 같이 그물망 형태로 upstream이 무한정 확장하게 되어 어느 지점까지를 대상범위에 포함시켜야 할지에 대한 일관성있는 기준이 없어 각 단위공정별로 투입물과 산출물의 기본흐름을 정량하는 것은 힘들다.

II. 기존 방법론 분석

순환시스템에서 단위공정별로 투입물 및 산출물을 정량화하기 위해 적용가능한 방법으로는 시스템 확장을 통한 순환시스템 회피 방법과 cut-off criteria 적용과 외부 D/B연결을 통한 순환시스템의 선형화 방법이다. 각각의 경우를 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

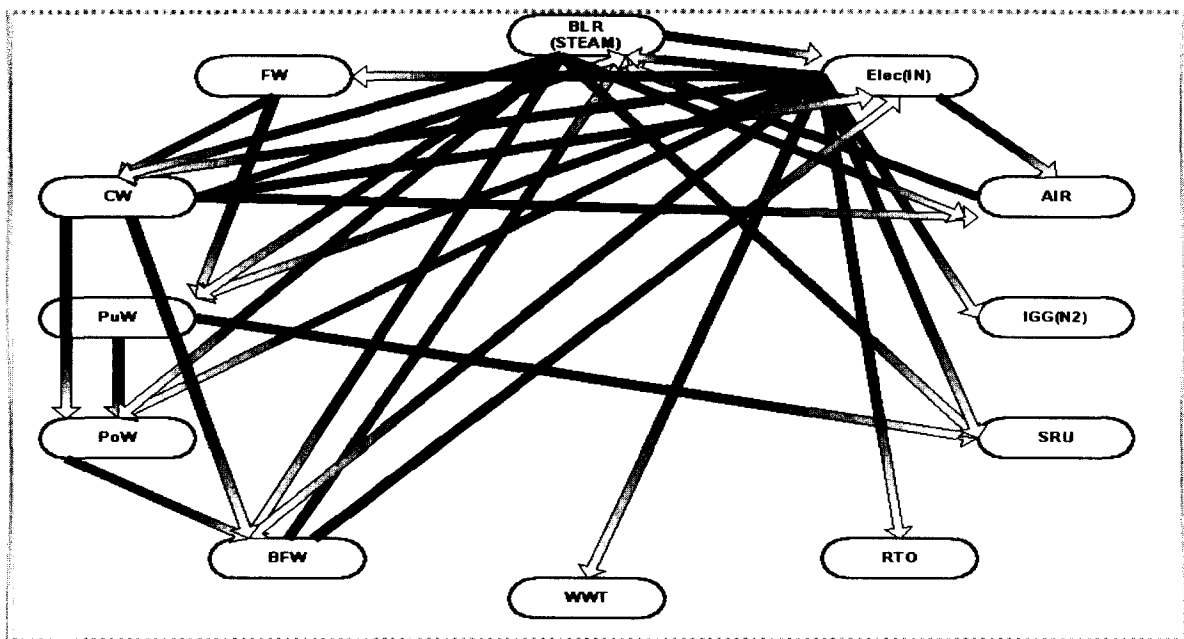


Fig. 1. 석유화학산업에서의 순환시스템

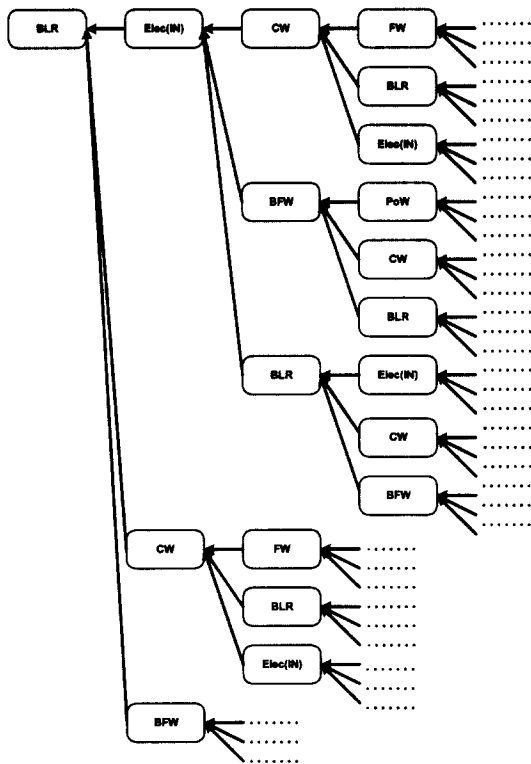


Fig. 2. 단위공정에 연결된 upstream의 그물망 확장

1. 시스템 확장을 통한 순환시스템 회피방법

이 방법은 할당을 피하기 위해서 적용되는 방법이기도 하며, 순환시스템이 형성되는 흐름을 하나의 단

위공정으로 파악하여 투입물 및 산출물을 정량화하는 방법으로, Fig. 3과 같이 순환시스템을 피하기 위한 편의성을 제공하는 장점이 있는 반면, 순환시스템 내에 포함되어진 각각의 단위공정별 정량화값이 아닌 순환시스템을 하나의 단위공정으로 선정하게 되므로 연구결과의 정밀도 저하를 초래하기도 한다. 이러한 접근법은 현재 LCA관련 대부분의 소프트웨어 상에서 순환시스템에 대한 해결책으로 유도되고 있는 방법이기도 하다. 실제 순환시스템을 일부 소프트웨어에 적용시 오류가 발생하게 되며 이후 결과도 도출되어 그 결과의 신뢰도를 보장받을 수 없는 문제가 존재하기도 한다.

2. 순환시스템의 선형화 방법

순환시스템을 선형화시키는 방법으로는 cut-off criteria 적용을 통한 방법과 외부 D/B연결을 통한 방법 등의 두가지 방법이 있다.

(1) cut-off criteria 적용을 통한 선형화 방법

Cut-off criteria 적용을 통한 선형화 방법은 질량 및 에너지의 누적총량에 대하여 일정비율이상에 해당되는 물질과 환경적으로 유해한 것으로 분류되는 물질들을 포함하여 각 단위공정별 upstream에

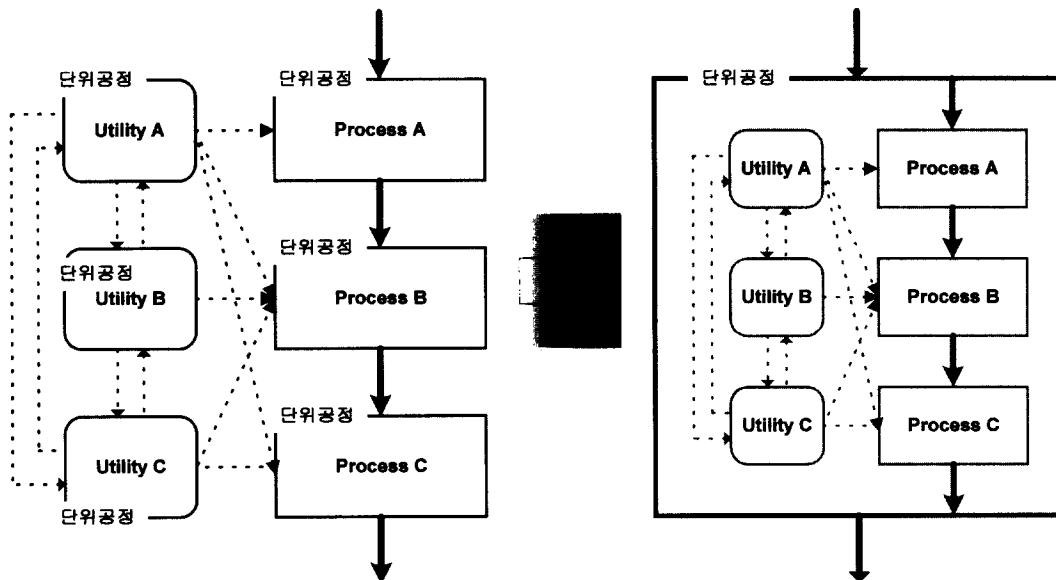


Fig. 3. 시스템 확장을 통한 순환시스템 회피방법

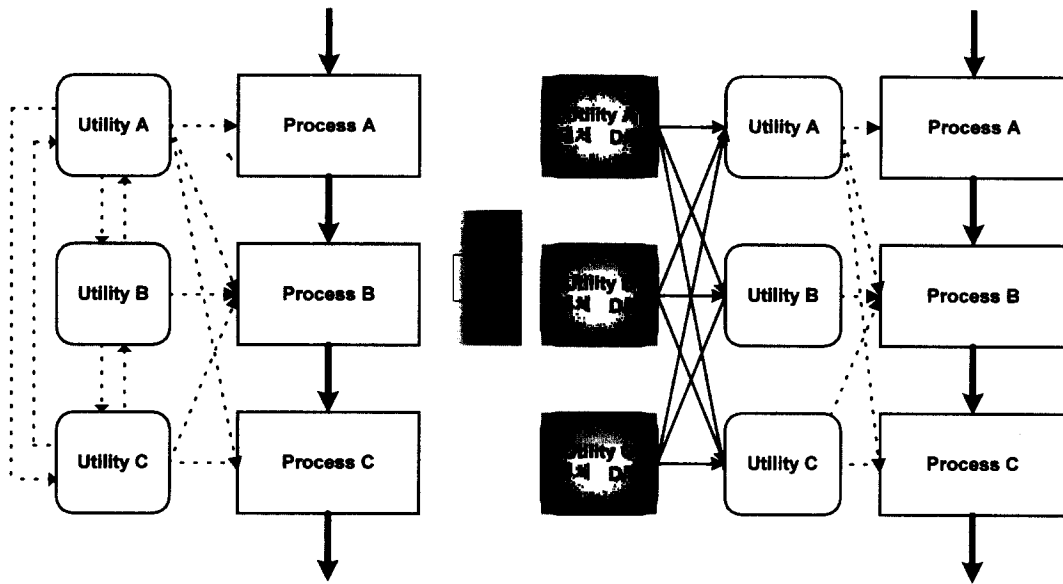


Fig. 4, 외부 D/B연결을 통한 선형화 방법

대한 연결을 수행하는 것이다. 이 cut-off criteria 방법의 적용을 위해서는 upstream연결이 완료된 시점에서 전체 각 최종점 파라미터의 누적 질량 및 에너지 기여도, 환경유해성을 기준으로 cut-off가 이루어질 수 있다. 하지만, 무한반복연결되는 순환시스템에서는 upstream연결의 완료시점이 존재하지 않아 cut-off criteria를 적용시키기 위해서는 우선적으로 인위적인 최종점 선정이 이루어져야만 한다. 또한, 그 인위적인 최종점 선정이 적절치 못하게 이루어질 경우, 반복시스템으로 인한 과도한 순환누적계산의 우려가 있어 객관적인 정량이 어렵게 될 수 있다.

(2) 외부 D/B연결을 통한 선형화 방법

한편 선형화 방법은 Fig. 4와 같이 일부 흐름에 대하여 외부 D/B와 연결을 통하여 순환고리를 선형화시키는 방법이다. 이를 위해서는 순환공정을 대체할 적절한 D/B상의 단위공정이 존재하며, 현장 데이터가 존재함에도 외부 D/B를 이용하기에 연구결과 의 현장성 및 신뢰도의 저하를 초래하는 결과를 발생하게 될 것이다.

III. 제 안

이상의 두 방법을 적용함에 있어서 upstream연결

의 최종점 선정에 대한 불확실한 기준설정으로 인한 순환누적계산과 현장성이 떨어지는 외부 D/B연결로 인한 결과에 대한 신뢰도 저하가 발생하게 되므로, 이를 해결하기 위한 제안으로 다음과 같은 3가지 방법을 제시하고자 한다.

- 연립방정식을 통한 단위공정당 투입물 및 산출물 정량화
- double cut-off를 통한 고려할 범위 설정후 정량화
- 반복 단위에서의 cut-off 시행을 통한 정량화

이 방법들에 대한 이해를 돕기 위하여 Fig. 5와 같은 가상의 순환시스템을 가정하였으며, 각 단위공정별 투입물과 산출물은 Table 1과 같다고 가정하였다.

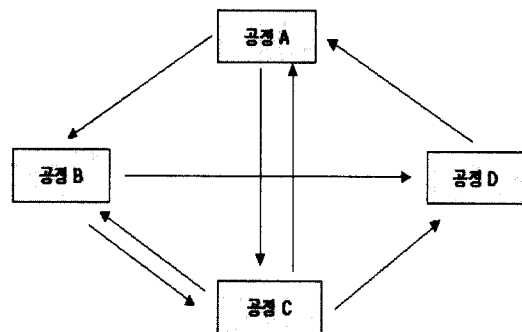


Fig. 5. 가상의 순환시스템

Table1. Fig. 2. 시스템의 각 단위공정별 물질목록표

물질명	단위	정량	비고
input01	kg	0.2	
input02	kg	0.4	
input03	kg	0.5	
생산물			
output01	kg	0.4	
output02	kg	0.2	
output03	kg	0.3	

물질명	단위	정량	비고
input04	kg	0.3	
input05	kg	0.1	
input06	kg	0.6	
생산물			
output04	kg	0.4	
output05	kg	0.1	

물질명	단위	정량	비고
input07	kg	0.3	
input08	kg	0.1	
생산물			
output06	kg	0.1	
output07	kg	0.1	
output08	kg	0.1	

물질명	단위	정량	비고
input09	kg	0.3	
input10	kg	0.1	
생산물			
output09	kg	0.1	
output10	kg	0.1	
output11	kg	0.1	

(1) 연립방정식을 통한 단위공정당 투입물 및 산출물 정량화

이 제안은 다중 순환 시스템에서의 각각의 단위공정에 관한 연립방정식을 수립하여 각 단위공정별 해(解)를 찾는 것이다. 이 방법에서 단위공정을 한 개의 변수로 처리하고, 이외의 다른 파라미터와 외부 D/B와의 연결을 통해 upstream값을 얻을 수 있는 파라미터에 대해서는 상수로 간주하며, 투입물은 양의 값으로, 산출물은 음의 값으로 처리하여 각 단위공정별 개별방정식을 수립하게 된다. 이렇게 얻어진 각 개별방정식을 토대로 상호연립방정식을 풀어 해당단위공정별 투입물 및 산출물에 대한 값을 얻게 된다.

Fig. 5상의 단위공정별 물질목록표는 Table 1과 같다고 가정하여 각 단위공정별 투입물과 산출물 관계를 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$A = 0.5C + 0.3D + \text{etc(A)} \dots\dots\dots(1)$$

$$B = 0.2A + 0.3C + \text{etc(B)}$$

$$C = 0.5A + 0.4B + \text{etc(C)}$$

$$D = 0.5B + 0.4C + \text{etc(D)}$$

위의 식을 행렬로 표현하여 아래와 같이 역행렬 해법을 통하여 각 단위공정에 순환되지 않는 투입물과 산출물[etc(A), etc(B), etc(C), etc(D)]의 상수 배로 정량화한다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.5 & -0.3 \\ -0.2 & 1 & 0 & -0.3 \\ -0.5 & -0.4 & 1 & 0 \\ 0 & -0.5 & -0.4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{etc(A)} \\ \text{etc(B)} \\ \text{etc(C)} \\ \text{etc(D)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.78 & 0.88 & 1.21 & 0.80 \\ 0.58 & 1.53 & 0.54 & 0.63 \\ 1.12 & 1.06 & 1.82 & 0.65 \\ 0.74 & 1.19 & 1.00 & 1.58 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{etc(A)} \\ \text{etc(B)} \\ \text{etc(C)} \\ \text{etc(D)} \end{bmatrix}$$

이상의 결과를 토대로 한 각 단위공정별 물질목록표는 식(2)와 같이 각 단위공정에서 순환되지 않는

Table 2. 각 단위공정별 물질목록

투입물과 산출물의 상수배로 표현할 수 있게 된다. 각 단위공정별로 물질목록의 결과는 Table 2와 같다.

$$A = 1.78 \text{ etc(A)} + 0.88 \text{ etc(B)} + 1.21 \text{ etc(C)} + 0.80 \text{ etc(D)} \dots\dots(2)$$

$$B = 0.58 \text{ etc(A)} + 1.53 \text{ etc(B)} + 0.54 \text{ etc(C)}$$

$$+ 0.63 \text{ etc(D)}$$

$$C = 1.12 \text{ etc(A)} + 1.06 \text{ etc(B)} + 1.82 \text{ etc(C)} + 0.65 \text{ etc(D)}$$

$$D = 0.74 \text{ etc(A)} + 1.19 \text{ etc(B)} + 1.00 \text{ etc(C)} + 1.58 \text{ etc(D)}$$

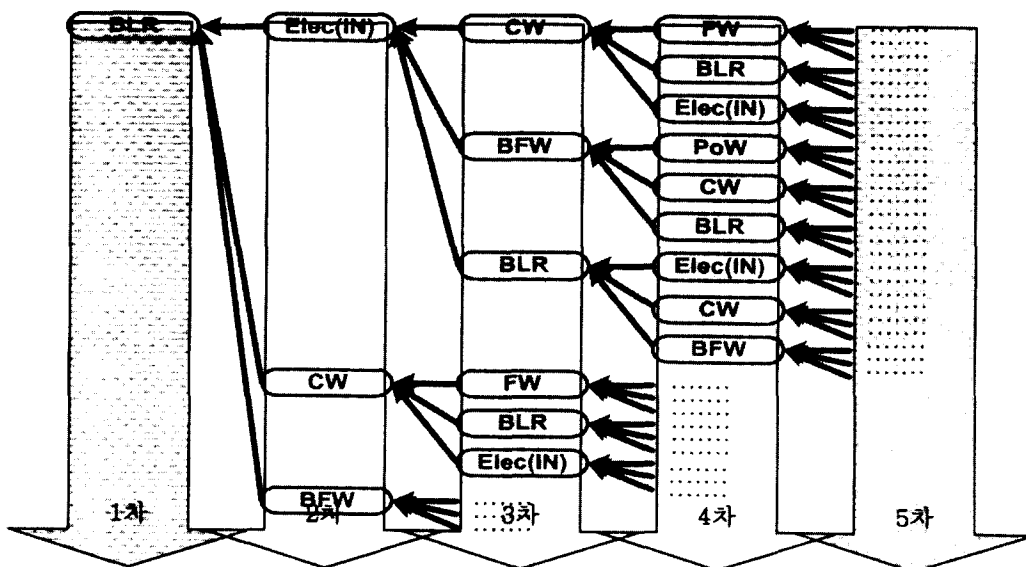


Fig. 6. 확장된 upstream에 대한 차수별 합산 모형

(2) double cut-off를 통한 고려할 범위 설정 후 정량화

이 제안은 계속적인 upstream연결 과정에서 발생하는 각 upstream연결차수의 총 질량의 합과 각 차수의 전체질량의 일정비율지점을 upstream연결시점의 최종점으로 선정하여 그 이상의 upstream연결은 무시한 후, 최종점상에서의 발생하는 파라미터에 대한 누적질량 및 에너지량으로 일정비율로 cut-off를 시도하는 방법이다.

Fig. 6과 같이 대상단위공정의 upstream연결이 1~N차까지 존재할 경우, 식(3)과 같은 기준을 설정한다.

$$\frac{N\text{차 upstream 연결된 항의 파라미터 총합}}{\sum_{n=1}^N n\text{차 upstream 연결된 항의 파라미터 총합}} * 100(\%) < (100 - (\text{cut-offcriteria})) \dots\dots(3)$$

위 기준에 부합된 차수에서 upstream연결을 중단하고 그 이후 차수로의 upstream연결은 무시한다. 그 후 해당차수의 완료점의 파라미터들에 대한 cut-off criteria를 90%로 선정하였을 때, Table 3과 같이 upstream연결은 6차에서 질량비가 8.0%로 (100-90)%미만에 해당되므로 6차를 완료점으로 선정하게 된다. 또한, 6차점에서의 각 파라미터의 누적질량비에 따른 cut-off를 실시한다.(Table3)

이상의 기준을 따라 정량화된 물질목록표는 Table 4와 같다.

(3) 반복 단위에서의 cut-off 시행을 통한 정량화

일반적으로 순환시스템에서는 upstream에 연결되는 단위공정이 일정하게 반복되는 점을 고려하여 Fig. 7과 같이 일정차수내의 반복지점에서 그 이하

Table 3. double cut-off를 통한 고려할 범위 설정 후 정량화 예시

	1차	2차	3차	4차	5차	6차
차수별질량합	0.8	0.72	0.48	0.40	0.30	0.24
차수별 누적질량합에 대한 각 차수별질량합의 비율	100%	47.4%	24.1%	16.7%	11.0%	8.0%

Table 4. 누적질량비에 따른 cut-off(기준 : 누계질량 90%)

물질명	실 투입량 (kg)	질량비율	누적질량비	물질명	실 투입량 (kg)	질량비율	누적질량비
				B	0.002	0.81%	90.12%
				C	0.002	0.76%	90.88%
				C	0.002	0.76%	91.65%
				A	0.002	0.76%	92.41%
				C	0.002	0.76%	93.17%
				A	0.002	0.76%	93.93%
				C	0.002	0.73%	94.66%
				A	0.002	0.68%	95.34%
				D	0.001	0.61%	95.95%
				B	0.001	0.61%	96.56%
				B	0.001	0.61%	97.17%
				A	0.001	0.51%	97.68%
				A	0.001	0.51%	98.19%
				C	0.001	0.49%	98.67%
				A	0.001	0.49%	99.16%
				D	0.001	0.46%	99.62%
				A	0.001	0.38%	100.00%

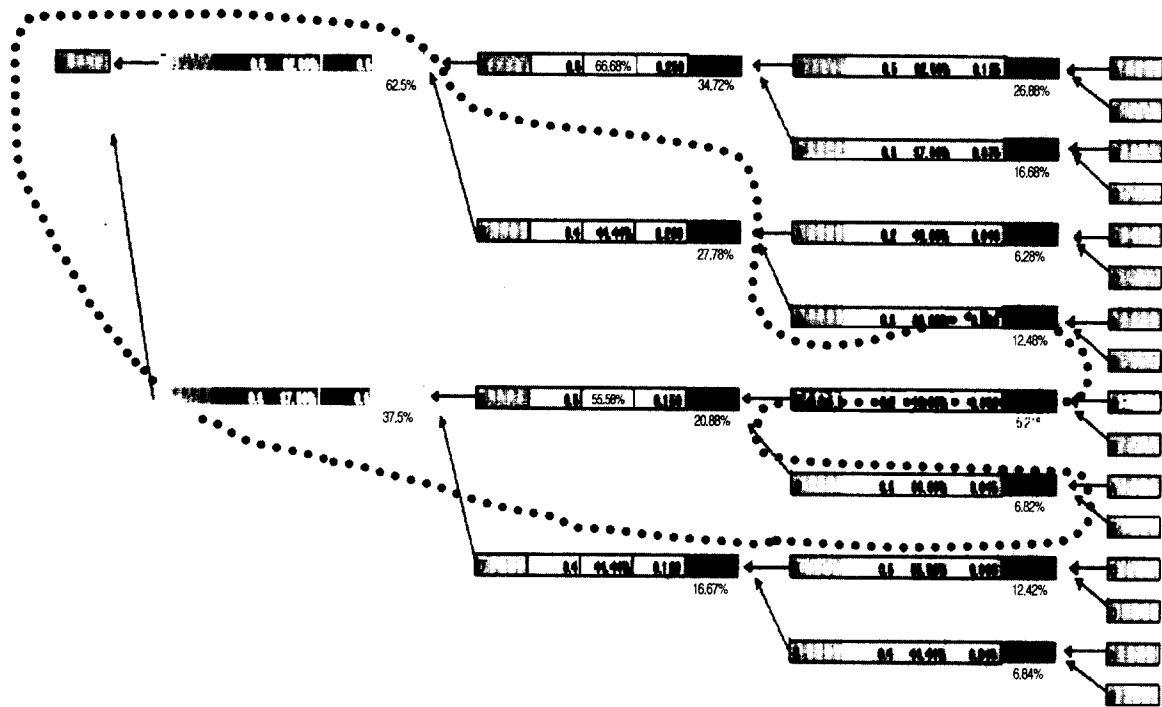


Fig. 7. 반복 단위에서의 cut-off 예시

의 반복에 대해서는 무시하는 방법이다.

이 방법은 반복순환을 일정횟수로 제한하여 제한된 순환회수 이내에 해당하는 파라미터들을 포함하여 단위공정을 정량화하는 방법이다. 예를 들어, 제품 A의 upstream을 연결하면, 1회 반복만을 인정한다는 가정하에 $A \leftarrow C \leftarrow A \leftarrow C \dots$ 와 같이 $A \leftarrow C$ 구조가 반복되는 구조에서는 두번째 A 부터는 버리게 된다.

이러한 기준에 의해서 적용된 대상범위는 Fig. 7과 같이 설정되게 되며, 적용된 시스템경계를 토대로 정량화된 단위공정의 물질목록표는 Table 5와 같다.

IV. 결 과

이상의 3가지 방법을 이용하여 정량화한 A생산공정의 투입물과 산출물의 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 보는 바와 같이 동일 단위공정 A에 대하여 연립방정식을 통한 단위공정당 투입물 및 산출물 정량화, double cut-off를 통한 고려할 범위 설정후 정량화, 반복단위에서의 cut-off시행을 통한 정량화 순으로 투입물 및 산출물 정량화 값이 감소

하였다. 이는 double cut-off방법이나 반복단위에서의 cut-off방법은 임의의 cut-off수행을 통해 고려 대상 데이터의 누락으로 인한 것으로 고려되며, double cut-off방법이 반복단위에서의 cut-off보다 큰 것도 동일한 이유인 cut-off시킨 정도의 차이로 인한 것으로 여겨진다.

또한, 이상의 3가지 제안은 기존 cut-off criteria를 통해서 접근하기 어려운 순환시스템에서의 단위공정에서 투입물 및 산출물에 대한 정량화를 위한 일관적인 기준설정과 현장 D/B 사용을 우선하여 적용시킬 수 있도록 하여 추후 연구결과에 현장성과 신뢰성을 높일 수 있도록 하였다. 특히, 연립방정식을 통한 단위공정당 투입물 및 산출물 정량화 방법은 연립방정식을 통한 해법이 다른 2가지 제안방법에 비해 인위적인 데이터 누락인 cut-off를 실시하지 않으므로 cut-off기준설정을 위한 추가적인 가정이 필요치 않으며, cut-off정도에 따른 오차에 대한 우려도 필요치 않게 되었다. 또한, 데이터처리에 소요되는 시간에서도 다른 두 방법에 비해 절감할 수 있는 장점을 가지고 있어 향후 적극적인 활용이 기대된다.

1. 연립방정식을 통한 물질목록 작성 단위공정명

투입물	물질명	단위	정량	비고
	input01	kg	0.36	
	input02	kg	0.71	
	input03	kg	0.89	
	input04	kg	0.26	
	input05	kg	0.09	
	input06	kg	0.53	
	input07	kg	0.36	
	input08	kg	0.12	
	input09	kg	0.24	
	input10	kg	0.08	
산출물	물질명	단위	정량	비고
	output01	kg	0.71	
	output02	kg	0.36	
	output03	kg	0.53	
	output04	kg	0.36	
	output05	kg	0.09	
	output06	kg	0.12	
	output07	kg	0.12	
	output08	kg	0.12	
	output09	kg	0.08	
	output10	kg	0.08	
	output11	kg	0.08	

2. Double cut-off를 통한 물질목록 작성 단위공정명

투입물	물질명	단위	정량	비고
	input01	kg	0.31	
	input02	kg	0.53	
	input03	kg	0.73	
	input04	kg	0.17	
	input05	kg	0.06	
	input06	kg	0.35	
	input07	kg	0.32	
	input08	kg	0.11	
	input09	kg	0.13	
	input10	kg	0.04	
산출물	물질명	단위	정량	비고
	output01	kg	0.63	
	output02	kg	0.31	
	output03	kg	0.47	
	output04	kg	0.23	
	output05	kg	0.06	
	output06	kg	0.14	
	output07	kg	0.11	
	output08	kg	0.11	
	output09	kg	0.04	
	output10	kg	0.04	
	output11	kg	0.04	

3. 반복단위에서의 cut-off를 통한 물질목록작성 단위공정명

투입물	물질명	단위	정량	비고
	input01	kg	0.30	
	input02	kg	0.40	
	input03	kg	0.50	
	input04	kg	0.11	
	input05	kg	0.04	
	input06	kg	0.21	
	input07	kg	0.19	
	input08	kg	0.06	
	input09	kg	0.09	
	input10	kg	0.03	
산출물	물질명	단위	정량	비고
	output01	kg	0.40	
	output02	kg	0.20	
	output03	kg	0.30	
	output04	kg	0.14	
	output05	kg	0.04	
	output06	kg	0.06	
	output07	kg	0.06	
	output08	kg	0.06	
	output09	kg	0.03	
	output10	kg	0.03	
	output11	kg	0.03	

Table 5. 3가지 제안 결과 비교

V. 결 론

현재 순환시스템에서의 단위공정당 경계설정에 대한 기준은 가시화된 것은 없는 상태이다. ISO에서 제시하고 있는 cut-off criteria의 경우, upstream 연결이 끝나는 선형적 구조의 시스템에 적용가능한 모델이며, 또한, 시스템 경계확장을 통한 해결책도 얻고자 하는 연구결과와 정밀도를 떨어뜨리는 결과를 초래하므로, 순환시스템에서의 단위공정당 투입물 및 산출물 정량화를 위한 보다 실제적이고 구체적인 다른 해법이 필요한 상황이다. 더욱이 이러한 순환시스템은 산업체 전반에서 흔히 볼 수 있는 시스템이지만 현재 일관성있고 객관적으로 일반화된 기준이 없는 관계로 상황에 따라 다른 기준을 적용하고 있는 실정이어서 추후 현 연구결과에 대한 상호 신뢰와 호환성에 문제가 발생할 것으로 예측된다.

이러한 어려움을 극복하기 위한 방편으로 본 논문에서는 가용한 3가지 제안을 하였다. 각각의 제안들이 무한반복 확장되는 단위공정의 upstream연결을 총체적으로 파악해야 하는 어려움에서 해결을 위한

시간절약, 일관성 및 현장성 확보라는 장점을 가지고 있다.

특히, 연립방정식을 통한 단위공정별 물질목록 정량화는 다른 두 방법에 비해서 데이터 처리를 위해서 임의기준에 따른 cut-off가 이루어지지 않아 적용시킨 cut-off기준차에 따른 오차에 대한 문제가 없으며, 데이터 처리 시간도 절감되는 장점을 보여주어 향후 적극적인 적용이 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) Consoil, Frank, David Allen, Ian Boustead, James Fava, William Franklin, Allan A. Jensen, Nick de Oude, Rod parrish, Rod Perriman, Dennis Postlethwaite, Beth Quay, Jainthe Seguin and Bruce Bigon, Guidelines for Life Cycle Assessment : A Code of Practice, 1st ed., SETAC, (1993).
- 2) Henrik Wenzel, Michael Hauschild and Loe Alting, Environmental Assessment of Products, vol. 1, Chapman & Hall, London, (1997).

- 3) Joseph Fiksel, Design for Environment-Creating Eco-Efficient Products and Processes, McGraw-Hill, New York, (1996).
- 4) ISO 14040 : Environmental Management-Life cycle assessment-Principles and framework, (1997).
- 5) Mary Ann Curran, Environmental Life-Cycle Assessment, McGraw-Hill, New York, (1996).
- 6) ISO 14041 : Environmental management-Life cycle assessment-Goal and scope definition and inventor analysis, (1998).
- 7) ISO/CD 14042.3 : Environmental management-Life cycle assessment-Life cycle impact assessment, (1998).
- 8) ISO/DIS 14043 : Environmental management-Life cycle assessment-Life cycle interpretation, (1999).
- 9) Technical Report Illustrative examples on how to apply ISO 14041Life cycle assessment Goal and scope definition and inventory analysis, ISO/TC207/SC5/WG3.
- 10) 이진모, 허탁, 김승도, 환경 전과정평가의 이론과 지침, 한국품질환경인증협회, (1996).