

산업연관분석을 활용한 전과정 목록구축에서의 산업군 분류에 따른 불확실성 평가 연구

신소연, 홍석진*, 김 익**, 임노현*, 허 탁*
(주)에코프론티어, 건국대학교*, 친환경상품진흥원**

A Study on Uncertainty analysis of LCI with dividing industrial categories apply in Input-Output Analysis

So-Yun Sin, Seok-Jin Hong*, Ik Kim**, Noh-hyun Lim*, Tak Hur*
EcoFrontier Co, Konkuk University* , Korea Eco-Products Institute**

ABSTRACT

To build LCI, the step of collecting and calculating lots of process data is prerequisite. Even though it is, we have to admit that more or less unpredicted circumstances might be involved in doing this kind of operation. Especially in IOA case alone, several uncertainties while in handling data, dividing industry categories into class and regional-timing differences, mostly attributed to IOA's own inherent traits, have been found. So it is very high time to consider seriously the claims for research on analysing and evaluating those uncertainties quantitatively and properly. Here in this study, the "Hybrid Method" is adopted to build LCI and the Monte Carlo simulation method to analyze 28, 77 and 168 uncertainties belonged to industry category of IOA. We applied the probability distribution of input list with assumption to the simulation on the basis of stencil paper data and finally drew the estimated forecast value over the output from 146 TRI classified by industry. While the LCI classified by industry shows a various and wide distribution, as breaking down the number of industry to 168 from 28, concerned uncertainties have shown a sure drop in quantities.

요약문

전과정목록구축을 위해서는 많은 양의 데이터를 취합하고 처리하는 일련의 과정이 요구된다. 이와 같은 과정에는 다양한 불확실성이 내포될 수 있으며, 특히 산업연관분석(Input Output Analysis ; IOA)을 활용한 전과정목록구축은 데이터, 산업군 분류, 지역적/시간적 차이 등과 같은 IOA 고유의 불확실성이 존재하게 된다. 따라서 이들 불확실성이 갖는 영향의 정량적인 측정과 이와 관련한 불확실성 평가에 대한 연구가 요구되고 있다. 본 연구에서는 "Hybrid method" 기법을 통해 전과정목록을 구축하고, 이 과정에서 28개, 77개, 168개의 산업군 분류에 따른 불확실성을 몬테-카를로 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 시뮬레이션 수행을 위해 원자 데이터를 기준으로 투입목록들의 확률분포를 가정하여 적용하였으며, 산업군별 146개 TRI 배출물에 대한 예측값을 도출하였다. 이들에 대한 불확실성은 예측값이 갖는 분포에 대한 변동계수로 측정하였으며, 이를 통해 전과정 목록구축에서의 IOA 활용에 있어서 보다 세분화된 산업군의 적용이 결과의 불확실성을 감소시킴을 확인하였다.

이 행렬의 의미는 산업군 간의 무한으로 거래되는 재화의 흐름을 무한등비급수를 적용하여 최종수요 1단위를 생산하는데 필요한 모든 산업군을 무한으로 연결하였다는 것을 의미하게 된다.

$$(I-A)^{-1} = I+A+A^2+A^3+A^4+\dots \text{ --- 식 2}$$

생산유발계수를 활용한 전과정목록구축은 $(I-A)^{-1}$ 과 최종수요 Y를 곱하여 최종수요 1단위를 생산하는데 모든 산업군으로부터 얼마만큼의 생산유발(총 생산유발효과 X)이 되었는지를 계산하는 단계와 각 산업군 별 배출계수(P)를 X에 곱하여 최종수요 1단위를 생산하는 과정에서 모든 산업군에서 배출되는 물질의 총량(M)을 계산하는 과정으로 진행되며, 계산된 산업군별 총 배출량을 배출물별로 취합하면 전과정에 걸친 목록표가 작성된다.

$$X=(I-A)^{-1} \cdot Y \text{ -----식 3}$$

$$M=X \cdot P \text{ -----식 4}$$

배출계수(P)란 생산유발계수를 통해 화폐단위로 주어지는 데이터를 물질단위의 데이터로 전환하는 계수로서 연구 대상 물질의 각 산업군별 총 배출량을 해당 산업군의 부가가치(GDP)로 나누어 계산하여 [질량/금액]의 단위를 갖는다. 이 배출계수의 신뢰도가 결과의 불확실성에 큰 영향을 미치게 되므로 본 연구에서는 배출계수를 계산하는 과정에서 산업군 분류를 세분화하여 적용하였다.

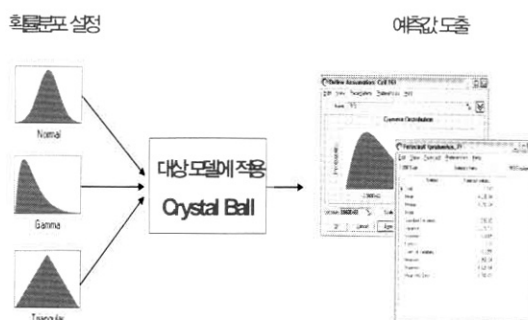
4. 불확실성 평가 수행

몬테-카를로 시뮬레이션은 예측, 추정, 리스크 분석에 유용하게 사용되며, i)불확실한 변수에 대해 사전에 정의된 확률분포에서 반복적으로 값을 추출하고, ii)이렇게 선택된 값을 모델에 적용하여 iii)시나리오에 따른 계산 작업을 수행하는 과정을 따른다.

이 시나리오를 통해 모델과 연관된 결과값이 생성되므로 각 시나리오별로 예측값이 정해진다.

본 연구에서는 [그림 2]와 같이 i)벽지 공정의 gate-to-gate의 투입목록에 대한 확률분포를 설정하는 단계, ii)여기서 추출된 반복적인 값을 식 4와 같이 계산하는 모델에 적용하는 단계, iii)전과정목록의 값 즉, 예측값을 정의하는 순서로 진행하였다.

몬테-카를로 시뮬레이션을 수행하기 위해 Crystal Ball 7 소프트웨어를 사용하였다.

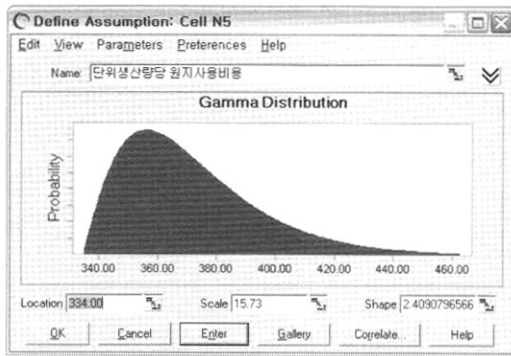


[그림 2] 몬테-카를로 시뮬레이션 수행절차

4.1 확률분포 설정

벽지 제품에 대한 gate-to-gate 투입목록에 대한 확률분포를 설정 하는 단계로 시뮬레이션에서는 가정(assumptions)이라고 한다. 이 단계에서는 선택된 데이터의 특성에 따라 확률 분포를 설정할 수 있다.

본 연구에서는 투입목록 중 주요 투입원료 물질인 원지에 대해 확률분포를 가정하고 이를 기준으로 다른 투입목록의 분포를 동일하게 가정하여 적용하였다. 확률분포를 도출하기 위해 일정기간 투입된 35개 투입물량을 벽지 생산량으로 나누고 여기에 kg 당 비용데이터 곱하여 원지의 투입비용을 산출하여 확률분포를 얻을 수 있었다. [그림 3]은 원지 데이터에 대한 확률분포를 나타내며 이 원지데이터는 다양한 물리량에 적용되는 감마분포를 나타내고 있다.



[그림 3] 원지 변수에 대한 확률분포

4.2 대상모델에 적용

시뮬레이션에서 대상모델을 통한 계산과정을 실행(trials)이라고 한다. 전과정목록 값을 계산하기 위해 먼저 <표 1>과 같이 벽지 생산 공정에서 투입되는 물질들을 해당 산업군으로 분류하였다. 산업군이 세분화됨에 따라 목록들이 포함되는 산업군이 세분화되어 다양해지는 것을 알 수 있다.

<표 1> 투입목록별 산업군 분류

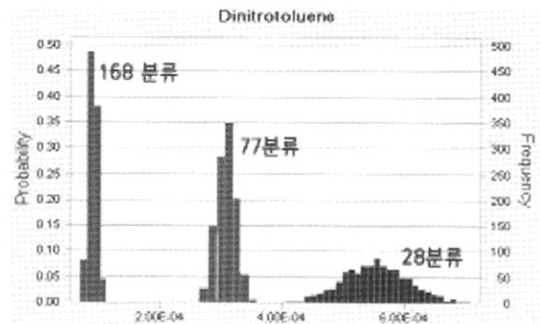
산업군	28개	77개	168개	
투입목록				
원지	목재 및 종이제품	펄프 및 종이	종이제품	
PVC Paste resin	화학제품	합성수지 및 합성고무	합성수지	
충진제		무기화학기초	무기화학기초	
가소제		유기화학기초	기타 유기화학기초	
분산제		기타화학	기타화학	기타화학
발포제				
안정제				
점도저하제				
안료	염료도료안료	염료도료안료		
수성잉크				
전기	전력, 가스 및 수도	전력	전력	
LPG		도시가스 및 수도	도시가스	

산업군별 투입목록은 식 4와 같이 계산하여 최종적으로 146개 배출물에 대한 생산단계 이전까지의 전과정목록이 구축된다. 이 모델은 excel 기반으로 개발하였으며, 투입목록별 확률분포에 따라 난수를 생성하게 된다. 시뮬레이션 수행을 위해 Crystal Ball 7

을 사용하여, 시행회수는 1,000번으로 설정하여 적용하였다.

4.3 예측값 도출

마지막 단계로 가정과 실행을 통해 얻은 결과값인 예측값(forecasts)을 수집하고 이를 해석한다. 28개, 77개, 168개의 산업군 분류별로 146개 TRI 배출물 각각에 대하여 산업군 분류별 예측값은 [그림 4]의 예시와



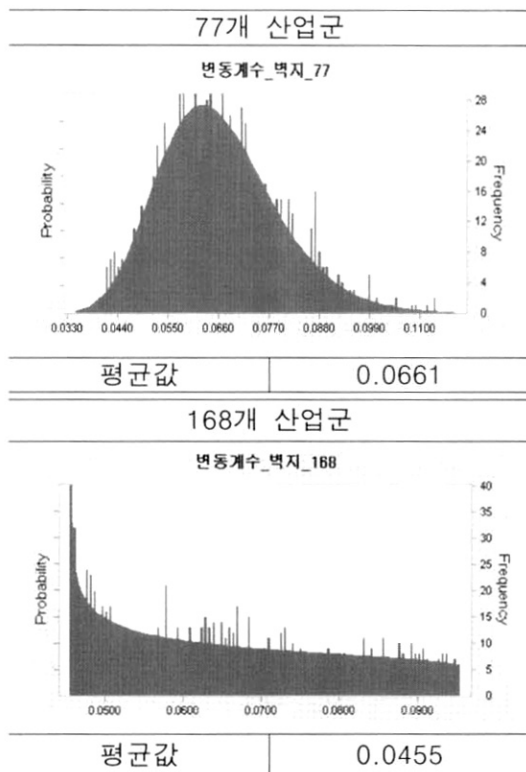
같이 나타난다.

[그림 4] Dinitrotoluene에 대한 산업군 분류별 예측값 분포

산업군 분류에 따라 다른 분포를 보이는 결과의 불확실성 비교를 위하여 각 분포에서의 변동계수(Coeff. of Variability)를 비교하였다. 변동계수는 분포의 표준편차를 평균값으로 나눈 것으로 스케일이 서로 다른 여러 개의 확률분포에서의 변동성을 비교하여 불확실성 정도를 측정하는 계수이다.

<표 2> 산업군별 전과정목록에 대한 변동계수

28개 산업군	
변동계수_벽지_28	
평균값	0.0977



<표 2>에서와 같이 산업군별 전과정 목록 분포들에 불확실성 평가에서 각 분포들에 대한 변동계수를 살펴본 결과 산업군을 세분화함에 따라 변동계수들의 분포에 대한 평균값이 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 산업군을 세분화함에 따라 결과의 불확실성이 감소하고 있음을 의미한다.

5. 결론 및 향후 과제

IOA를 활용한 전과정 목록구축은 산업연관표에서 유도된 생산유발계수와 배출계수를 통해 계산한다. 전과정평가 기법과 IOA 기법을 같이 활용한 'Hybrid Method'를 통해 두 방법론에서의 단점을 서로 보완할 수 있다. 또한 IOA 방법론 적용으로 야기될 수 있는 산업군 분류에 의한 불확실성 감소를 위하여 산업군을 세분화하고 결과의 불확실성 분석을 위하여 몬테-카를로 시뮬레이션을 수행하였다.

28개 산업군에서 77개 산업군, 168개 산업군으로 세분화함에 따른 결과의 불확실성의 변화는 각 분포의 변동계수를 통해 비교하였다. 그 결과 변동계수가 산업군을 세분화함에 따라 점차 감소하는 것으로 나타나 이로써 전과정 목록구축에서 IOA를 활용할 경우 산업군을 세분화함으로써 결과의 불확실성을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

본 연구는 IOA를 활용하여 전과정 목록을 구축하는 과정에서 보다 신뢰도 높은 데이터를 구축하기 위한 방안의 하나로 산업군을 세분화하고 이를 통한 불확실성 감소 정도를 정량적으로 분석하였다. 앞으로 보다 신뢰도 높은 결과 산출을 위해 물질 배출량에 대한 통계 데이터의 완비와 신뢰도 높은 배출계수의 개발을 통해 데이터를 구축하고 적용 한다면 전과정목록 결과에 대한 불확실성을 줄이기 위한 대안을 마련할 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

1. Johnathan Mun : Moving Beyond Uncertainty in Business, Decisioneering Inc. 2005
2. Chrus T. Hendrickson, Lester B. Lave, H.Scott Matthews : Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services. 2005
3. 한국은행 : 산업연관표. 2001
4. 허 탁, 이건모, 김승도 : 환경 전과정평가의 이론과 지침. 1998