

우리나라 고독성물질 사용저감 규제의 수정 편익-비용분석

윤종수, 변헌수*

전남대학교 공학대학 화학생명공학과
59626 전남 여주시 대학로 50

(2020년 7월 14일 접수; 2020년 8월 4일 수정본 접수; 2020년 8월 4일 채택)

A Revised Benefit-Cost Analysis of the Korean TUR Program

Daniel Jongsoo Yoon, and Hun-Soo Byun*

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Chonnam National University,
50, Daehak-ro, Yeosu, Jeonnam 59626, Korea

(Received for review July 14, 2020; Revision received August 4, 2020; Accepted August 4, 2020)

요 약

청정사회 구축을 위한 독성물질사용 저감규제의 타당성은 사회적 경제성 기준으로 평가되어야 한다. 가장 보편적인 방법은 편익-비용분석이다. 편익-비용분석은 규제 프로그램 운영에 따른 모든 편익과 비용 항목들을 화폐적 가치로 산정하여 이를 단순 비교하여 평가한다. 그러나 타당성 평가는 경제적 기준뿐만 아니라 정책적 기준도 반영되는 것이 합리적이므로, 항목들에 기준 가중치를 반영하여야 한다. 본 연구는 이를 위한 평가방법론을 개발하고 이를 2020년도부터 시행되는 우리나라 고독성 물질 사용 저감규제 프로그램에 적용하였으며, 연구결과 고독성 물질의 배출 저감규제의 타당성 평가를 위해서는 기존의 경제적 기준뿐만 아니라 정책적 기준도 적용하는 수정 편익-비용분석 기법이 합리적인 대안이 될 수 있음을 발견되었다.

주제어 : 독성물질 사용저감, 계층적 분석과정(AHP), 정보 엔트로피, 수정 편익-비용분석

Abstract : The introduction of the Korea toxics use reduction (TUR) program to build a clean society is generally evaluated based on social economic criteria. Among various techniques, benefit-cost analysis is the most commonly used. This method is focused on the calculation and comparison of all the benefits and costs attributable to the TUR program. However, since it is reasonable to consider not only economic criteria but also policy criteria in the process of evaluation, it is necessary to reflect on the criteria weights found in the benefits and costs. This study aims at developing a new evaluation technique to achieve this purpose and apply it to the Korean TUR program to be implemented in 2020. This study selected competitiveness, toxic substances' emission reduction ratio, and health improvement as policy criteria. The Analytic Hierarchy Process (AHP) technique was initially used to calculate the weight and then, based on the results, the concept of information entropy introduced by Claude Shannon was used to eliminate subjective bias. As a result of the study, it was found that the revised benefit-cost analysis considering the weights of the policy criteria, as well as the existing economic criteria, could be a reasonable alternative in evaluating the feasibility of TUR regulations for highly toxic substances.

Keywords : Korea TUR, AHP, Information entropy, Revised B/C analysis

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: hsbyun@jnu.ac.kr; Tel: +82-61-659-7296; Fax: +82-61-659-7299

doi: 10.7464/ksct.2020.26.3.168 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

끊임없이 개발된 다양한 화학물질들은 산업 생산과정에 널리 활용되고 있으며, 풍요로운 소비문화에 기여하지만, 청정산업 측면에서 많은 화학물질들은 유해성으로 인하여 사용에서 규제를 받는다. 생산공정에서 다양한 오염물질을 배출하여 사업장 작업자와 지역주민의 건강에 악영향을 줄 뿐만 아니라, 제조/운송과정에서 발생하는 사고는 일반 시민의 건강을 위협하고, 생태계 파괴도 초래하기 때문이다. 이에 따라 국제사회와 각 국가는 환경규제 프로그램을 통하여 기업체가 자발적으로 독성물질 사용저감에 적극적으로 노력하도록 지도·감독하고 있다.

이런 분위기가 잘 반영된 최초의 사례는 미국 매사추세츠(Massachusetts) 주정부 사례이다. 미국 매사추세츠주 정부는 연방정부의 화학물질 규제와는 별개로, 기업체의 자발적이고 효율적인 화학물질 사용저감 및 관리를 유인하는 독성물질 규제를 실행함으로써 매사추세츠 소재 기업의 경쟁우위를 촉진하고, 주민의 공중보건과 환경을 보호하는 “독성물질 사용저감법(toxics use reduction act, TURA)” 규제안을 1989년에 제정하였다. 이 사례는 캐나다 온타리오(Ontario) 주정부의 2009년 “독성물질 저감법(toxics reduction act, TRA)” 제정으로 이어졌으며, 우리나라의 30/50 프로그램과 SMART 프로그램의 시범사업 후, ‘화학물질관리법’을 2017년 11월 28일에 개정(시행 2019년 11월 29일)하는데 근거를 제공하였다. 우리나라는 이에 근거하여 2020년부터, 5년 단위로 지정한 화학물질 배출저감계획서를 제출하게 하는 이른바 ‘화학물질 배출저감제도’ 규제 시행안을 마련하였다.

물론, 이 과정에는 당연히 이해당사자 간의 상충(trade-offs)이 생기기 마련이다. 그래서, 독성물질 사용저감 규제프로그램의 타당성을 확보하기 위해 경제성분석 특히, 편익-비용분석(B/C analysis) 기법이 활용되었다. 대표적인 연구는 Abt Associates [1]에 의해 실행된 미국 매사추세츠주 사례다. 우리나라의 사례 또한 있다. Shin et al. [2]은 화학물질의 지정·관리에 따른 주요 사회적 편익 및 비용 산정 관련 지침안을 작성하였으며, 컨설팅 기관 TO21 [3]도 2020년부터 시행되는 우리나라 규제 시행안의 예비 타당성 연구를 이 기법으로 수행하였다.

그러나, 기존 연구에 적용된 편익-비용분석 기법은 규제로 인하여 발생(변경) 되는 모든 비용과 모든 편익을 화폐적 가치로 산정하여 이들의 차이 또는 이들의 비율로써 규제의 타당성을 입증하는 방식이었다. 즉, 모든 비용 항목과 모든 편익항목은 경제적 기준입장에서 동등한 중요도로서 다루어졌다. 그렇다 보니 정책적 기준은 전혀 고려되지 않고 평가되었다. 사실상 고독성물질 사용저감 규제프로그램의 타당성 평가에는 여러 기준이 고려되고, 더불어 이들의 가중치가 산정되어 반영되는 것이 합리적이다. 이에, 본 연구는 정책적 기준을 고려한 수정 편익-비용분석 방법론을 개발하고 이를 2020년도부터 시행되는 우리나라 고독성물질 사용저감 규제 프로그램에 적용해 보고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 편익과 비용의 결정

편익-비용분석은 가장 널리 이용되고 있는 경제적 능률성 평가 수단로서, 일반적으로 규제 프로그램 운영에 따른 총편익과 투입된 총비용을 산출한 후, 이들 값의 비율 또는 차이로 타당성을 평가한다. 따라서, 총편익과 총비용의 결정이 핵심이다. 독성물질 사용저감 프로그램 타당성 평가와 관련해서, Abt Associates [1]는 비용은 준수비용과 자본투자라는 두 가지 범주로, 그리고 편익으로는 독성물질 사용저감으로 인한 운영비용 변화와 연방정부 보조금으로 분류하였다.

본 연구에서는 규제로 인한 편익 분류를 규제 대상을 기준으로 한다. 즉, 피 규제자가 얻는 편익과 이해당사자인 일반시민이 받는 편익으로 구분한다. 특히, 화학물질 규제는 사회적 규제이므로 경제적인 편익뿐만 아니라 정책적인 편익 또한 파악한다. 한편, 비용 분류는 활동에 따른 소요자원의 화폐가치를 보다 정교하게 결정하는 활동기준비용(activity-based costing, ABC)이라는 방법론을 택한다. 이 방법론은 전통적인 비용시스템에서 간접비로 구분하던 원가를 활동(activity)이라는 개념을 도입하여 활동 별로 활동소비량에 따라서 배부함으로써 좀 더 합리적인 비용을 계산하는 비용 추정방식이다[4]. 세부적으로, 활동을 정부(지방단체) 및 산하기관 활동과 산업계 활동으로 분류하고, 산업계 활동비용은 다음과 같이 구분한다:

- 배출저감계획서 기안 및 작성 활동비용
- 배출저감계획 활동 관련 역량 활동비용
- 배출저감 설비투자 및 설비운영(점검 및 관리) 활동비용
- 경쟁력 약화 관련 활동비용
- 대상 화학물질 생산업자 부가가치 창출기회 손실 활동비용
- 대체물질 개발 관련 R&D 투자비용
- 대상 화학물질 수출입 가치기회 손실 활동비용
- 대상 화학물질 서비스 사업자 부가가치 창출기회 손실 활동비용.

2.2 정책 기준 가중치 결정 기법

2.2.1. 계층화 분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)

Saaty [5]가 개발한 기법으로서 전문가들의 집단 의사결정을 체계화하는 방법이며, 요소들의 상대적 중요도를 쌍대비교에 의해 주관적 가중치를 측정하는 기법이다. 가중치를 산정하기 위해서, 이 기법은 4단계의 과정을 적용한다. 제1단계는 계층 체계에 문제를 분리하는 과정이다. 상위계층에는 가장 포괄적인 목표가 있고, 하위계층에는 상위계층에 대한 상세하고 구체적인 하위 기준(속성, 지표)과 대안들이 구성된다. 제2단계는 평가 기준 간에 쌍대비교를 수행하고, 그 결과를 행렬로 나타내는 과정이다. 어떤 계층의 비교기준을 C_1, C_2, \dots, C_n 이라고 하고 C_j 에 비해 C_i 의 중요한 정도를 a_{ij} 라는 수치로 표현할 때 이들 n 개의 기준 간의 쌍대비교의 결과는 Equation (1)과 같이 기술된다[6].

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이를 바탕으로 제 3 단계와 제 4 단계가 진행된다. 제 3 단계에서는 각 계층에 대하여 평가 기준들이 갖는 상대적 가중치가 추정된다. 즉, 평가 기준 C1, C2, ..., Cn이 갖는 중요도 w_1, w_2, \dots, w_n 을 추정하는 것이다. Saaty [5]는 가중치 추정방법으로서 고유치 방법(eigenvalue method)을 제안하고 있다. 즉, Equation (1)의 곱 행렬을 만들고, 각 행의 합으로 된 열 벡터를 구한다. 열의 합을 계산한 이후 열 벡터 각 행의 값을 열 합계로 나눈다. 이렇게 나온 값이 기준의 가중치이다. 마지막 제 4단계에서는 이렇게 도출된 가중치가 신뢰할 수 있는지를 확인하기 위해 일관성 비율(consistency ratio, CR)을 계산한다. 이를 위해 행렬 A의 최대 고유치 λ_{max} 를 Equation (2)를 이용하여 먼저 구하고, Equation (3)을 이용하여 일관성 지수(consistency index, CI)를 계산한다. 이후 일관성 지수를 무작위 지수(random index, RI)로 나누어 일관성 비율을 계산한다. 계산 값이 0.1 이하일 경우에는 일관성이 있다고 판단하고, 0.10 ~ 0.20일 경우에는 일관성을 인정하는 수준 정도로 간주한다. 만약 0.20을 넘으면 일관성이 없다고 판단한다.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n w_j \cdot a_{ij}}{w_i} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

2.2.2. 정보 엔트로피

정보 엔트로피(information entropy)는 열역학에서 사용되는 엔트로피처럼 무질서 정도를 측정하는 도구 혹은 무질서 정도를 나타내는 지수(index)다. 따라서 정보 엔트로피에서는 경우의 수가 많은 상태가 엔트로피가 높은 상태(state)가 된다. 정보 엔트로피 기법은 대안과 속성을 많이 포함하는 현실적인 다 기준 의사결정 문제에 대해 의사결정자가 비교적 이해하기 쉬운 정보이론 방법을 적용하는 것이다. 여기서, 정보이론이란 각 속성의 빈도수를 기반으로 응집도가 높은 속성을 발견하여 가중치를 높게 부여하는 이론을 의미한다[7].

n개의 기준과 대안(응답자의 수로 보아도 됨) m개가 있는 의사결정 문제에 가정하면, 정규분포형의 엔트로피 기법은 응답자-속성 행렬로부터 가중치 벡터를 추정해내는데, 이 행렬은 엔트로피 관점에서 기준 간의 가중치 추정의 정보를 담고 있다. 즉 대안 간의 차이가 큰 기준은 중요한 기준이고 대안 간의 차이가 적은 기준은 덜 중요한 기준이다. 여기서 의사결

정 문제는 Equation (4)와 같이 D라는 의사결정 행렬(decision matrix)로 나타낼 수 있으며, 모든 속성에 대해서 정규화 한 결과를 P_{ij} 라고 하면, P_{ij} 는 Equation (5)와 같이 표시되고, 또한, 각 속성의 엔트로피를 E_j 라고 표기하면, 엔트로피는 Equation (6)으로 산정된다.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \log P_{ij} \quad (k = \frac{1}{\log m}; j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

속성의 가중치를 구하기 위하여 다양성 정도(d_j) 개념이 활용되는데, 다양성 정도는 Equation (7)과 같이 계산되며, Equation (8)과 같이 다양성 정도 값들을 각 속성에 대하여 정규화한 것이 그 속성의 가중치(w_j)이다[8].

$$d_j = 1 - E_j \quad (7)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} ; \quad \forall j \quad (8)$$

한편, 우리가 가설적으로 사전에 주관적 가중치(subjective weight), λ_j ($j=1, 2, \dots, n$)를 알고 있다면, 엔트로피 가중치는 Equation (9)와 같이 조정된 가중치(w_j^o)로 계산될 수 있다[9].

$$w_j^o = \frac{\lambda_j w_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j w_j} ; \quad \forall j \quad (9)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 기본 가정과 편의 및 비용 산정

기업이 자발적으로 화학물질 배출 저감계획서를 작성하여 감독기관에 제출하여 승인을 받고, 이를 작업공정에 적용하는 ‘자발적 사용물질저감 프로그램’ 실행은 필연적으로 정부 예산, 투자비, 운용비용, 교육/훈련비 등의 비용과 대상물질 구매 비용 감소, 대체물질 개발, 국민 건강개선 등에 따른 편익을 발생시킨다. 그리고, 이를 추정하는 과정에는 여러 기본적 가정들이 설정된다. 본 연구에서 설정된 중요한 핵심 가정은 다음과 같다.

Table 1. Benefit-cost analysis of the Korean toxics use reduction program

Regulatory proposal: Mandatory submission of a plan to toxics chemical emission reduction in 2020			
Influence group	Cost (as of 2019)	Benefits (as of 2019)	Net benefits (as of 2019)
Industry	114,748,998,821 (investment)	37,077,931,745	
	11,474,899,882 (management)	(purchase reduction)	
	2,810,974,755 (plan preparation)	37,867,169,611	
	449,755,961 (education/training)	(indirect convenience)	
	37,077,931,745 (opportunity cost)		
Government	7,912,000,000		
Public institutions	562,186,830		
Local Environment Department	650,994,504		
General citizen		107,360,182,384	
Total	175,687,742,498	182,305,283,740	+6,617,541,242
B/C Ratio		1.038	

- 2019년을 기준연도로 한다.
- 분석 기간은 10 yr으로 한다.
- 2020년 적용 사업장 수는 310개, 2025년 적용될 사업장 수는 1,085개로 가정한다.
- 명목 임금상승률은 3.4%, 사회적 할인율은 4.5%, 물가 상승률은 1.4%로 가정한다.
- SMART 시범사업 평가를 참고하여 발암물질 배출량을 평균 배출량 기준 6%씩 증가하는 비율로 저감 하여, 10yr 후에는 60% 저감 달성으로 가정한다.
- 디클로로메탄(dichloromethane)을 규제 대상물질의 대표 물질로 가정한다.
- 설비투자 비용(원/ton⁻¹)은 2020년 기준으로 4,845,973원으로 가정한다[4].
- 계획서 적합성 검토 소요시간은 건당 20 hr로 가정한다.
- 현장 점검은 2명이 한 팀이 되고, 점검시간은 4 hr로 가정한다.
- 정부 예산은 2020년 기준 10억 원으로 가정한다.
- 시범사업 기준 건당 100 hr를 계획서 준비 시간으로 가정한다.
- 사업장 담당자는 1인, 그리고 역량 교육시간은 16 hr로 가정한다.
- 휘발성 유기화합물(VOC) 1 ton 저감에 따르는 사회적 총 편익은 2005년 기준 2,800 Euro로 가정한다.

이에 근거하여 우리나라가 실행하는 2020년도 화학물질 배출 저감계획 프로그램에 계산된 편익-비용 사회적 경제성분석 결과는 Table 1과 같으며 자세한 자료는 부록 1~9에 나타내었다.

3.2. 기준 선정과 가중치 결정

3.1에서 언급한 바와 같이 일반적 편익-비용분석 절차에는 가정이 따르게 된다. 따라서, 가정을 어떻게 설정하느냐에 따라서 편익과 비용의 크기가 변하고, 그 결과 분석 결과에도 차

이가 생길 수 있다. 본 연구에서도 여러 가정을 설정하였고, 가정을 통하여 배출 저감 대상물질의 저감 속도를 어떻게 정하느냐에 따라서, 그리고, 대상물질의 대체를 이끄는 혁신성에 따라서 편익-비용의 크기가 변할 수 있다는 사실을 파악하였다. 또한, 물질이 미치는 범위를 산업계에 국한할 것인지 이해당사자까지 확장할 것인지에 따라서도 편익-비용 규모가 변화될 수 있음을 식별하였다. 따라서 이러한 정책적 기준은 그 기준의 가중치가 결정되어 이를 반영한 수정 편익-비용분석이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 기존 방식에서 수용되는 효율성(경제성) 기준을 기본으로 하고, 추가 기준으로 가정을 통해 식별한 경쟁(혁신)성 강화, 배출저감 속도, 국민 건강개선이라는 기준을 추가 선정한다. 각 기준의 가중치를 산정하고자 화학물질관리 전문가 30명의 집단을 표본 추출하여 9점 척도를 이용한 설문조사를 하였으며, 회수된 26명의 설문지로 일관성 비율 테스트를 하였다. 테스트 결과를 바탕으로, 계층 내 비교항목의 쌍대 비교를 통해 기준 간의 상대 중요도를 수치화하기 위해 일관성이 인정되는 0.2 이하인 16개 평가 설문만을 분석 대상으로 하였다.

기준의 가중치 결정을 위해 먼저, AHP 기법을 적용하였다. 분석 결과, Table 2에서와 같이, 설문에 유효하게 응답한 전문가 16명은 평균적으로 경제성 평가에 0.136, 경쟁력 강화에 0.157, 독성물질 배출저감 속도에 0.238, 국민건강 개선에 0.469 중요도 가중치를 부여하고 있다. 국민건강 개선이 가장 높은 가중치를 갖는 것으로 나타났고, 그다음은 배출저감 속도, 경쟁력 강화 순으로 나타났으며, 기준 중에서 운영지출 비용경제성은 가중치가 가장 낮은 것으로 지적되었다. 전문가 집단은 독극성 화학물질 배출 저감규제의 타당성 평가에서는 사회적 정책 기준이 생산성 바탕의 경제 기준보다 중요하다고 지적하였다.

설문 응답자의 주관적 개입으로 인한 가중의 왜곡을 방지하기 위하여 정보 엔트로피 이론을 이용한 정보 가중치를 산정한다. 먼저 AHP 기법을 이용하여 도출한 결과 Table 2를 Equation

Table 2. Weighting value of the j-th criteria for the i-th respondent

No.	Economy	Competitiveness	Reduction ratio	Health improvement
1	0.306	0.368	0.185	0.141
2	0.119	0.044	0.192	0.645
3	0.069	0.121	0.208	0.602
4	0.061	0.106	0.305	0.528
5	0.068	0.193	0.226	0.513
6	0.073	0.303	0.057	0.567
7	0.089	0.089	0.208	0.614
8	0.054	0.135	0.202	0.609
9	0.120	0.078	0.419	0.383
10	0.568	0.217	0.128	0.087
11	0.068	0.390	0.152	0.390
12	0.158	0.140	0.158	0.544
13	0.179	0.119	0.295	0.407
14	0.088	0.091	0.466	0.355
15	0.035	0.071	0.220	0.674
16	0.122	0.052	0.383	0.443
Average	0.136	0.157	0.238	0.469

Table 3. Normalized value of the j-th criteria for the i-th respondent

No.	Economy	Competitiveness	Reduction ratio	Health improvement
1	0.141	0.146	0.049	0.019
2	0.054	0.017	0.050	0.086
3	0.032	0.048	0.055	0.080
4	0.028	0.042	0.080	0.070
5	0.031	0.077	0.059	0.068
6	0.034	0.121	0.015	0.076
7	0.041	0.035	0.055	0.082
8	0.025	0.054	0.053	0.081
9	0.055	0.031	0.110	0.051
10	0.261	0.086	0.034	0.012
11	0.031	0.155	0.040	0.052
12	0.073	0.056	0.041	0.073
13	0.082	0.047	0.077	0.054
14	0.040	0.036	0.123	0.047
15	0.016	0.028	0.058	0.090
16	0.056	0.021	0.101	0.059

(4)의 의사결정 행렬(decision matrix)로 적용하고, 모든 속성에 대해서 Equation (5)를 이용한 정규화한 결과 P_{ij} 를 구하면, P_{ij} 는 Table 3과 같다.

그리고, Equation (6) ~ (8)에 따라서 정보 엔트로피, 다양성 정도, 기준 가중치를 계산하면 Table 4와 같다.

Table 2에 따르면, 화학물질관리 전문가들의 설문응답을 기준으로 한 분석에서 기준의 중요도는 국민건강 개선이 가장 높

았고, 그다음은 배출저감 속도, 경쟁력 강화, 경제성 순으로 나타났다. 그러나 주관적 편차를 제거하기 위해 정보 엔트로피 개념을 활용한 결과, 중요도 순서는 변화되었다. Table 4에서와 같이 운영 지출 비용경제성 기준이 가장 높았으며, 다음으로는 경쟁(혁신)성 강화, 배출저감 속도, 국민 건강개선 순으로 바뀌었다. 이러한 변화를 조정한 기준 가중치 산정이 요구된다. 이를 위하여 Equation (9)를 적용한 결과 조정 가중치 행렬은

Table 4. Metric information entropy and diversity degree of the j-th criteria

Classification	Economy	Competitiveness	Reduction ratio	Health improvement
Ej	0.887	0.907	0.964	0.972
dj	0.113	0.093	0.036	0.028
Wj	0.418	0.344	0.134	0.104

Table 5. Metric adjusted weight value of the j-th criteria

Classification	Subjective weight	Entropy weight	Adjusted value	Adjusted weight
Economy	0.136	0.418	0.057	0.057/0.191=0.298
Competitiveness	0.157	0.344	0.054	0.054/0.191=0.283
Reduction ratio	0.238	0.134	0.032	0.032/0.191=0.168
Health improvement	0.469	0.104	0.048	0.048/0.191=0.251

Table 6. Revised benefit-cost analysis of the Korean toxics use reduction program

Classification	Contents	Price	Weight	Revised weight
Cost	Economics	12,385,912,050	0.298	3,691,001,791
	Competitive	0	0.283	0
	Competitive	163,301,830,448	0.168	27,434,707,515
	National Health Improvement	0	0.251	0
Benefits	Economics	0	0.298	0
	Competitive	37,867,169,611	0.283	10,716,409,000
	Competitive	37,077,931,745	0.168	6,229,092,533
	National Health Improvement	107,360,182,384	0.251	26,947,405,778
B/C Ratio	43,892,907,311/31,125,709,306 = 1.410			

Table 5와 같이 도출되었다.

3.3 수정 편익-비용분석

조정된 가중치를 반영한 우리나라 배출저감계획 제출 규제안의 수정 편익-비용분석을 위해서는 평가 기준과 비용 항목 및 편익 항목을 연계하여야 한다. 연계 내용은 다음과 같다:

- 배출저감계획서 제출 관련 규제법규 추진 활동비용(경제성 기준)
- 배출저감계획서 검토 확인 활동비용(경제성 기준)
- 현장 점검 활동비용(경제성 기준)
- 배출저감제도 지원 기술 활동비용(경제성 기준)
- 배출저감계획서 작성 활동비용(경제성 기준)
- 배출저감계획서 담당자 교육/훈련 활동비용(경제성 기준)
- 배출저감을 위한 설비 설치/개선 활동비용(저감속도 기준)
- 배출저감을 위한 설비운영 활동(관리, 보수) 비용(저감속도 기준)
- 기회손실 활동비용(저감속도 기준)
- 화학물질 저감에 따른 구매비용의 절약 편익(저감속도 기준)

- 그린 경쟁력 강화에 따른 기업가치 상승(경쟁성)
- 일반시민 편익(국민건강 개선)

그리고, 이를 바탕으로 새로이 계산된 편익-비용 결과표는 Table 6과 같으며, B/C 비율은 1.410으로 가중치가 반영이 안된 비율(1.038) 보다 높은 분석 타당성을 보였다.

4. 결론

고독성 화학물질의 사용저감을 자발적으로 이행하도록 이끄는 새로운 배출저감계획서 제출제도 규제가 2020년부터 시행되고 있다. 본 연구에서는 이의 타당성을 평가하기 위한 정책 기준 가중치를 반영한 수정된 편익-비용분석 방법론을 개발하였고 이를 적용하였다. 규제 프로그램 실행으로 인하여 창출되는 편익과 부담되는 비용을 활동기준 분석기법으로 검토하였고, 정부가 설정한 대상물질 규제의 편익-비용(B/C) 비율은 1.410으로 산정되었다. 정책 기준 가중치를 고려하지 않는 단순 편익-비용 비율 값인 1.038보다 높은 쪽으로 변함을

확인하였다. 또한 고독성물질의 배출저감 규제의 타당성 평가를 위해서는 기존의 경제적 기준만이 아니라 정책적 기준을 고려한 수정 편익-비용분석이 합리적인 대안이 될 수 있음을 발견하였다.

References

1. Currie, R., and Van Atten, C. E., Benefit-Cost Analysis of the Massachusetts Toxics Use Reduction Act, University of Massachusetts Lowell, Methods and Policy Report No. 15 (1997).
2. Shin, Y. C., Kim, J. S., Ko, D. H., Lee, J. S., and Lee, K. M., "Establishment of a Basis for Socio-economic Analysis for Chemical Management(I)," National Institute of Environmental Research, Incheon, 11-208 (2017).
3. TO21 Co. Ltd., "Research on Institutionalization Measures to Reduce Chemical Emissions," Ministry of Environment, Sejong, 1-125 (2019).
4. Cokins, G., Activity-based Cost Management: An Executive's Guide, John Wiley & Sons, New York, NY, 197-199 (2001).
5. Saaty, T. L., and Vargas, L. G., Decision Making with the Analytic Network Process, Springer, Boston, MA, 295-360 (2013).
6. Zahedi, F., "The Analytic Hierarchy Process - A Survey of the Method and Its Application," *Interfaces*, **16**(4), 96-108 (1986).
7. Berry, M. W., Drmac, Z., and Jessup, E. R., "Matrices, Vector Spaces, and Information Retrieval," *SIAM Review*, **41**(2), 335-362 (1999).
8. Mukherjee, S. P., Sinha, B. K., and Chattopadhyay, A. K., *Statistical Methods in Social Science Research*, Springer, Singapore, 53-152 (2018).
9. Jung, S. S., "On the Multi-attribute Decision Making by Entropy Methods," *J. Korea Saf. Manag. Sci.*, **6**(2), 177-185 (2004).

<부록> 편익-비용 세부 분석

부록 1. 중앙정부(환경부)의 관리 비용 추정

활동 내용	규제 내용 교육 및 추진 설명/홍보, 및 지원
비용(2019년 기준)	7,912,000,000원
산출식	- 각 활동 추진 사업예산의 합 - 홍보 사업예산 + 작성자 교육 사업예산 + 지원 사업예산
참고	- 매년 동일금액 사업예산 편성 가정

부록 2. 공공기관(화학물질 안전원)의 비용 추정

활동 내용	계획 제출서 검토
비용(2019년 기준)	562,186,830원
산출식	- 소요시간 × 시간당 임금 × 건수 - 2020년: 20시간 × 21,057원 × 310건 = 130,553,400원 2019년 현재가치: 124,931,483원 - 2025년: 20시간 × 26,237원 × 1,085건 = 569,342,900원 2019년도 현재가치: 437,255,347원
참고	- 시간당 임금은 2018년 고용노동통계연감 자료 참조. 19,283원 가정

부록 3. 지방자치단체의 비용 추정

활동 내용	현장 점검
비용(2019년 기준)	650,994,504원
산출식	- 팀당 인원 × 4시간 × 시간당 임금 × 현장 점검 건수
참고	2020 ~ 2024년은 200건 (관행 적용) 2025 ~ 2029년은 600건 (건수가 3배 확장됨에 따라서 점검 건수도 3배 증가 가정)

부록 4. 산업계 배출저감계획서 작성 활동 비용 추정

활동 내용	계획서 작성 및 컨설팅
비용(2019년 기준)	2,810,974,755원
산출식	- 소요시간 × 시간당 임금 × 건수 - 2020년: 100시간 × 21,057원 × 310건 = 652,767,000원 2019년 현재가치: 624,698,019원 - 2025년: 100시간 × 26,237원 × 1,085건 = 2,846,714,500원 2019년도 현재가치: 2,186,276,736원
참고	- 과거 예비 프로그램 평가에 따라서 건당 100시간으로 가정

부록 5. 산업계 역량강화 활동에 따른 비용 추정

활동 내용	교육/훈련
비용(2019년 기준)	449,755,961원
산출식	- 소요시간 × 시간당 임금 × 건수 - 2020년: 16시간 × 21,057원 × 310인 = 104,442,720원 2019년 현재가치: 99,951,683원 - 2025년: 16시간 × 26,237원 × 1,085인 = 455,474,320원 2019년도 현재가치: 349,804,278원
참고	- 담당자는 1인, 교육시간은 16시간으로 가정

부록 6. 산업계 설비 설치/개선 활동에 따른 비용 추정

활동 내용	설비 설치/개선 투자
비용(2019년 기준)	114,748,998,821원
산출식	설비투자 비용(ton^{-1} 당) \times 연간 배출 저감량(ton)
참고	- SMART 프로그램 운영에 따른 실적 자료 가정 - SMART 프로그램 기간의 평균 배출량 = 53,831 ton - SMART 프로그램 기간의 평균 발암물질 배출량 = 7,580 ton - 설비투자 비용 (원 ton^{-1}): 2020년 기준-4,845,973원

부록 7. 산업계 설비 설치/개선의 지속적 관리에 따른 비용 추정

활동 내용	설비 설치/개선의 지속적 관리
비용(2019년 기준)	11,474,899,882원
산출식	- 설비운영 비용(ton^{-1} 당) \times 연간 배출 저감량(ton)
참고	- SMART 프로그램 기준으로 10%를 운영비로 가정

부록 8. 산업계 편익

편익 내용	화학물질 구매 절감
편익(2019년 기준)	37,077,931,745원
산출식	\sum (년도 별 화학물질 감소 양(ton) \times 구매 단가(원 ton^{-1}))
참고	- 디클로로메탄의 단가는 2018년 기준 약 1,800,000원 ton^{-1} - SMART 프로그램 기간(2012 ~ 2017)의 평균 물가상승률은 1.4%

부록 9. 일반시민 편익

편익 내용	사망 및 질병 감소
편익(2019년 기준)	107,360,182,384원
산출식	\sum (년도 별 저감량(ton) \times 배출저감 편익(원 ton^{-1}))
참고	- 산업계 편익 계산에 적용한 저감량 가정