

## Fuzzy 가중치를 반영한 배출 저감 규제의 타당성 분석

윤종수 · 변현수<sup>†</sup>

전남대학교 화공생명공학과  
59626 전라남도 여수시 대학로 50(둔덕동)  
(2021년 2월 24일 접수, 2021년 3월 4일 수정본 접수, 2021년 3월 6일 채택)

## Feasibility Analysis of Korea TURA Reflecting Fuzzy Weights

Daniel Jongsoo Yoon and Hun-Soo Byun<sup>†</sup>

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Chonnam National University, Yeosu, Jeonnam 59626, Korea  
(Received 24 February 2021; Received in revised form 4 March 2021; Accepted 6 March 2021)

### 요 약

규제당국은 유해 물질 배출을 저감 하는 규제를 시행하면서, 규제 이행에 따른 다양한 활동의 편익/비용 비율로 그 타당성을 제시한다. 그리고 비율 산정과정에서 규제 관련 속성의 중요도 가중치를 반영한다. 그런데, 전문가들은 가중치 설문 응답에서 애매함을 보이고 있으며, 정확한 의사 결정을 위해서는 이를 제거해야 한다. 본 연구에서는 이를 위한 퍼지-계층화 방법론을 이용하여 타당성여부를 적용하고, 이를 2019년 11월 시행된 우리나라의 ‘배출 저감 계획’규제 타당성 평가에 적용하였다.

**Abstract** – The toxics regulatory body provides a benefit/cost ratio as a justification criterion while implementing regulations that induce the industry to reduce emissions voluntarily. Furthermore, since, the body wants to reflect not only the efficiency standard but also the policy standard in the evaluation of feasibility, it calculates the ratio by adjusting the importance weights. The problem is that respondents answer ambiguously. It should be removed for the reasonable evaluation. This study introduced a fuzzy-AHP methodology for this, and applied it to the voluntary emission reduction plan program in Korea.

Key words: Justification of Korea TURA, Fuzzy-AHP, Importance Weights

### 1. 서 론

독극성 물질 규제는 사회적 효용을 확보하는데 필요불가결한 수단이라는 옹호론 그룹이 있는가 하면, “규제는 원칙적으로 경쟁성과 혁신성 확산을 위해 가능한 없애는 것이 바람직하다”라는 규제 비판그룹도 있다. 양 그룹의 주장을 조정하는 과정에서 마련된 전략적 방안은 규제당국이 사업장의 자발적 참여를 권장하고, 규제의 타당성을 이해당사자에게 입증하는 것이다. 그리고, 타당성 입증 수단으로, 경제성분석의 일환인 편익-비용 분석(B/C analysis) 기법을 널리 활용한다. 즉, 규제로 인한 모든 비용과 편익을 화폐적 가치로 산정하여 이들의 차이나 또는 이들의 비율로써 규제의 타당성을 입증한다[1,2].

한편, 규제는 여러 정책적 목적을 포함하고 입안된다. 따라서, 편익과 비용 항목의 산정에 정책 파라미터(parameters)가 영향을 미친다. 편익-비용 분석에 따른 규제의 타당성을 명료화하려면, 정책적 목적을 파악하고, 이들 목적(속성)의 중요도 가중치를 산정하여 편익-비용 항목에 반영하는 것이 과학적이다. 이에 KDI 공공투자관리센터(2013)는 계층화 분석법(AHP, Analytic Hierarchy Process)으로 가중치를 결정하는 방법론을 제안하였고[3], 윤종수와 변현수(2020)은 우리나라의 2019년도 11월 29일 시행된 ‘배출 저감 계획’규제를 대상으로 하여 AHP 기법을 적용한 중요도 가중치가 반영된 규제 타당성 실증 분석을 하였다[4].

그러나, 일반적인 AHP 기법은 설문에서 비교 대상 간의 중요도를 ‘동일’, ‘약간’, ‘매우’, ‘확실히’, ‘절대’에 따라 9점 또는 5점 척도를 선택한다. 따라서, 중요도 요인에 대한 표현에는 언어적으로 모호성과 다의성이 포함되며, 더 나아가 인간의 평가는 항상 주관적이며 따라서 불완전하다. 이는 곧, AHP 기법은 중요도 가중치 요인을 명백하게 제시하는 데 한계가 있음을 의미한다. 이에 대한 대안으로 제시된 기법이 퍼지(fuzzy) AHP 기법이다. 이는 퍼지집합 이론을

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: hsbyun@jnu.ac.kr

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.

계층화 분석법에 적용한 방법이다. 본 연구는 퍼지 AHP 기법을 활용하여 2019년 11월 29일 시행된 우리나라 ‘배출 저감 계획’ 규제를 대상으로 중요도 가중치를 산정하고, 이를 반영한 규제의 타당성을 검토하는 데 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2-1. 퍼지 집합이론

애매하다는 의미에는 지식의 부족에서 파생되는 애매성(incomplete), 여러 가지 해석이 가능한 데서 오는 애매성(ambiguity), 미래의 일에 대한 애매성(randomness), 오류나 부정확함에서 오는 애매성(imprecision), 언어나 의미의 애매성(fuzziness) 등으로 다양하나, 퍼지집합은 언어나 의미의 애매성을 다룬다. 퍼지 집합이론에서는 언어적 측정을 위해서 보통 삼각퍼지수(triangular fuzzy numbers)를 사용하는데, 전체집합을 X라 하고 부분집합을 A라 할 때, Fig. 1은 삼각퍼지수 a, b, c와 이들의 소속함수(membership function)  $\mu_A(x)$ 를 나타낸다. 여기서, b는 적합 정도  $\mu_A(b)=1$ 로 멤버십 정도가 가장 높게 나타나는 값이며, a는 하한, 그리고 c는 상한이다[5]. 따라서 소속함수  $\mu_A(x)$  값은 a에서 b까지는 점차 증가하고 b에서 c까지는 감소한다.

한편, 퍼지집합 이론에서는, 임의의 삼각퍼지수  $A_1 = (a_1, b_1, c_1)$ 와  $A_2 = (a_2, b_2, c_2)$  그리고 임의의 양수  $\alpha$ 에 관하여, 다음과 같이 정의되는 대수 관계식을 수용한다.

$$A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2) \quad (1)$$

$$(A_1 \otimes A_2) \simeq (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2) \quad (2)$$

$$\alpha A_1 \simeq (\alpha a_1, \alpha b_1, \alpha c_1) \quad (3)$$

$$A_1^{-1} \simeq (1/c_1, 1/b_1, 1/a_1) \quad (4)$$

### 2-2. 계층화 분석법

이 분석법은 Saaty[6]가 개발한 집단 의사 결정 방법으로, 속성들의 주관적 중요도 가중치를 전문가의 쌍대 비교로 측정하였다. 일반적으로 4단계 과정을 거치는데, 제1 단계는 계층체계 과정으로, 상위 계층에는 목표가 있고, 하위계층에는 상위계층에 대한 구체적인 속성과 대안들이 구성되어 있다. 제2 단계는 속성 간에 쌍대 비교를 수행하였으며, 그 결과를 행렬로 표현하는 과정이다. 어떤 계층의 비교속성을  $C_1, C_2, \dots, C_n$ 이라고 하고  $C_j$  대비  $C_i$ 의 중요한 정도를  $\alpha_{ij}$ 로 표현할 때 이들 n개의 속성 간의 쌍대 비교의 결과는 식 (5)으로 기술된다[7].

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

제3 단계에서는 속성  $C_1, C_2, \dots, C_n$ 이 갖는 중요도 가중치 벡터  $\vec{A} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 가 추정된다. Saaty[6]는 가중치 추정 방법으로 고유치 방법(Eigenvalue Method)을 제안하였다. 즉, 식 (5)의 곱행렬을 만들고, 각 행의 합으로 된 열벡터를 구한다. 열의 합을 계산한 이후 열벡터 각 행의 값을 열 합계로 나누어 고유 벡터를 계산한다. 이렇게 나온 값이 기준의 가중치이다. 마지막, 제4 단계에서는 이렇게 도출된 가중치가 신뢰할 수 있는지 확인하기 위해 일관성 지수(CI, Consistency Index)를 계산한다. 이를 위해 행렬 A의 최대 고유치  $\lambda_{\max}$ 를 식 (6)을 이용하여 구하고, 또한, 일관성 지수 식 (7)을 구한다. 이후 CI를 난수 지수로 일관성의 허용한도를 의미하는 RI(Random Index)로 나누어 식 (8)의 일관성 비율(CR, Consistency Ratio)을 계산한다. 만약, CR값이 10% 이하일 경우에는 일관성을 인정한다.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n w_j \cdot a_{ij}}{w_i} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

$$CR = \frac{C.I.}{R.I.} \times 100 \quad (8)$$

### 2-3. 퍼지 계층화 분석 절차

AHP에서는 의사결정자의 판단에 따른 모호성과 불확실성을 처리할 수 없다. 이에, Laarhoven과 Pedrycz[8]는 문제점을 보완하기 위하여 퍼지 집합이론을 접목한 퍼지-계층화 분석법(Fuzzy-AHP)을 제시하였다. 일반적인 퍼지-계층화 분석법 적용 절차는 다음과 같다. 첫 번째 단계는 문제 상황을 전반적 목표, 상위속성, 하위속성으로 계층화한다. 두 번째 단계에는 속성 간의 이원 비교를 시행한다. n 가지 기준들의 가중치를 의사결정자가 한 번에 임의로 정하는 것이 아니라 한 번에 한 쌍씩 상대적으로 비교함으로써 중복성을 통해 의사결정자의 판단을 평균화한다. 이 과정에서 이원 비교 행렬의 각 원소는 의사결정자의 선택 불확실성을 반영하기 위하여 응답의 언어적 표현을 Table 1을 이용하여 특정 값이 아닌 삼각 퍼지 넘버로 표현한다. 그러면 k번째 응답자의 삼각 퍼지 응답은  $r_{ij}^k = (a_{ij}^k, b_{ij}^k, c_{ij}^k)$ 로 표기된다. 그리고  $i=j$ 에 대하여  $r_{ij}^k = (1, 1, 1)$ ,  $i \neq j$ 에 대하여는  $r_{ij}^k = 1/r_{ji}^k$ 인 응답 행렬( $R^k$ )이 식 (9)로 표기된다.

Table 1. Membership function of linguistic scale

Fuzzy number	Linguistic	Scale of fuzzy number
1	Equal importance	(1,1,2)
3	Moderate importance	(2,3,4)
5	Strong importance	(4,5,6)
7	Very strong importance	(6,7,8)
9	extreme importance	(8,9,9)

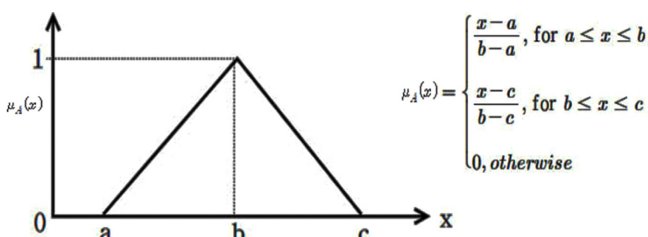


Fig. 1. Triangular fuzzy numbers and membership function.

$$R^k = [r_{ij}^k], (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

세 번째 단계에서는 일관성 검사를 하는데, Csutora와 Buckley [9]는 삼각퍼지수로 이루어진 퍼지 응답 행렬도 식 (8)를 이용하여 수행하면 된다고 지적하였다. 즉, 그들은 삼각퍼지수  $r_{ij}^k = (a_{ij}^k, b_{ij}^k, c_{ij}^k)$  로 이루어진 퍼지 응답 행렬  $R^k$ 은  $R^k = [b_{ij}^k], i, j = 1, 2, \dots, n$ 이 일관성을 가지면 역시 일관성을 갖게 됨을 보였다.

네 번째 단계는 비 퍼지수로 전환하는 과정이다. 이에는 여러 알고리즘이 소개되었는데, 이 중, Chang et al. [10]이 제안한 Extent Analysis Method와 Opricovic과 Tzeng [11]에 의하여 제안된 CFCS (converting fuzzy data into crisp scores) 방법이 널리 활용된다. 본 연구에서는 후자 방법론을 따른다. CFCS 방법을 적용하는 절차는 다음과 같이 7단계로 이루어진다. 즉, ① 정규화를 통한 삼각 퍼지 수의 변환 ② 하한 정규화 값과 상한 정규화 값 계산 ③ 정규화된 비퍼지값 계산 ④ 비퍼지값 계산 ⑤ 비퍼지값의 통합 ⑥ 비퍼지 응답행렬 구축 ⑦ 중요도 가중치 계산[12].

### 3. 연구 결과 및 고찰

#### 3-1. 평가 요소 계층 구조

윤과 변[4]는 배출 저감 계획 규제 속성으로 효율성 기반의 경제성, 그린 경쟁력, 배출 저감 속도, 국민건강개선을 선정하였다. 본 연구에서도 이를 적용하여 Fig. 2의 계층 구조로 설계한다. 한편, 중요도 비교 설문 응답자 수를 20명으로 하였고, 응답자의 전문성을 고려하여 두 그룹으로 나누었다. 한 그룹은 민간기업의 화학물질 취급 담당자고, 다른 그룹은 유해화학물질 관련 연구 및 컨설팅 분야에 종사하고 있는 전문가 집단이다. 최종 회수된 설문 14개 중 일관성이 인정되는 비율이 10% 이하인 8개 응답 자료로 중요도 가중치를 산출하였다. 사실상, 퍼지 AHP 의사 결정을 위한 설문조사

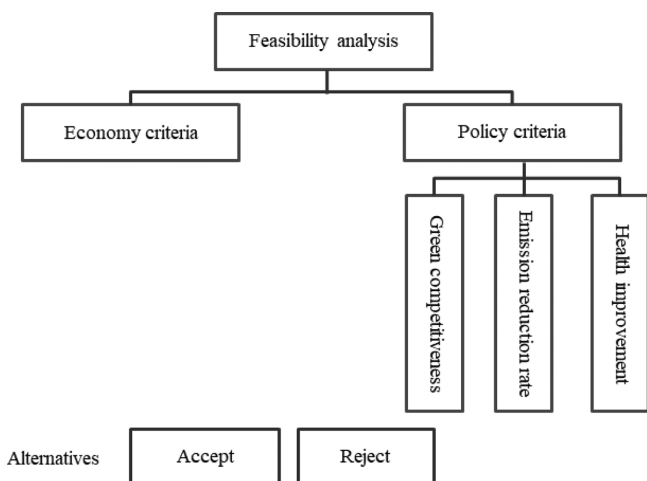


Fig. 2. Basic hierarchical structure for regulatory feasibility study.

Table 2. Fuzzy response matrix of random respondent  $k$  to attribute for importance weight

Attribute	Economy	Green competitiveness	Emission reduction rate	Health improvements
economy	(1,1,1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/6, 1/5, 1/4)
Green competitiveness	(4,5,6)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)
Emission reduction rate	(2,3,4)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1,1,1)	(1/4, 1/3, 1/2)
Health improvements	(4,5,6)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)

CR: 1.63% ≤ 10%

시 응답자의 전문성은 중요하나, 크기는 별다른 문제가 되지 않는다[13].

#### 3-2. 퍼지 및 비 퍼지 응답 행렬

Table 2는 일관성 비율 기준을 통과한 8명의 응답자 중 임의의 응답자  $k$ 의 “배출 저감 계획” 규제 속성에 대한 퍼지 응답 행렬이다. 응답자  $k$ 는 그린 경쟁력 속성과 경제적 타당성 속성 비교에서 그린 경쟁력이 더(strong) 중요하다고 5점을 부여하였기에 식 (9)에 따라서, Table 2에서는 (4, 5, 6)과 (1/6, 1/5, 1/4) 원소로 표기되었다. 응답자  $k$ 의 나머지 속성 비교도 같은 논리로 표기되었다.

그리고, 응답자  $k$ 의 퍼지 응답 행렬을 비 퍼지 응답 행렬로 변환하기 위해 CFCS 알고리즘을 적용하였다. 먼저, 식 (10)~식 (12)을 이용한 정규화를 통한 변환을 하였다. 예컨대, Table 2의 삼각 퍼지 수(4, 5, 6)는  $\max c_{ij}^k = 6$ ,  $\min a_{ij}^k = 1$ 이므로,  $xa_{ij}^k = 0.6$ ,  $xb_{ij}^k = 0.8$ ,  $xc_{ij}^k = 1$ 로 변환된다.

$$xa_{ij}^k = (a_{ij}^k - \min a_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (10)$$

$$xb_{ij}^k = (b_{ij}^k - \min a_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (11)$$

$$xc_{ij}^k = (c_{ij}^k - \min a_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (12)$$

$$\Delta_{\min}^{\max} = \max c_{ij}^k - \min a_{ij}^k$$

다음은, 변환 값을 바탕으로 하한 정규화 값( $xa_{s_g}^k$ )과 상한 정규화 값( $xc_{s_g}^k$ )을 식 (13)과 식 (14)에 따라서 계산하고, 식 (15)과 식 (16)에 따라서, 정규화된 비 퍼지 값( $x_{ij}^k$ )과 최종 비 퍼지 값( $x_{ij}^*$ )을 구한다. 삼각 퍼지 수(4, 5, 6)의 경우는  $xa_{s_g}^k = 0.666$ ,  $xc_{s_g}^k = 0.833$ ,  $x_{ij}^k = 0.784$ ,  $x_{ij}^* = 4.92$  이 산정된다.

$$xa_{s_g}^k = xb_{ij}^k / (1 + xb_{ij}^k - xa_{ij}^k) \quad (13)$$

$$xc_{s_g}^k = xc_{ij}^k / (1 + xc_{ij}^k - xb_{ij}^k) \quad (14)$$

$$x_{ij}^k = [xa_{s_g}^k(1 - xa_{s_g}^k) + xc_{s_g}^k xc_{s_g}^k] / [1 - xa_{s_g}^k + xc_{s_g}^k] \quad (15)$$

$$x_{ij}^* = \min a_{ij}^k + x_{ij}^k \Delta_{\min}^{\max} \quad (16)$$

이러한 논리에 따라서, 임의의 응답자  $k$ 의 “배출 저감 계획” 규제에 관한 모든 속성에 대한 비 퍼지 응답 행렬을 구하여 정리하면 Table 3과 같다.

#### 3-3. 통합 비 퍼지 행렬과 가중치 결정

통합 비 퍼지 응답 행렬은 일관성 비율을 만족한 모든 설문 응답자들의 비 퍼지 행렬을 통합한 행렬을 의미한다. 이는 식 (17)과 식 (18)을 이용하여 구해진다.

**Table 3. Defuzzification matrix of random respondent  $k$  to attribute for importance weight**

Attribute	Economy	Green competitiveness	Emission reduction rate	Health improvements
economy	1	0.20	0.34	0.20
Green competitiveness	4.92	1	2.93	1
Emission reduction rate	2.93	0.34	1	0.34
Health improvements	4.92	1	2.93	1

**Table 4. Integrated defuzzification matrix of random respondent to attribute for importance weight**

Attribute	Economy	Green competitiveness	Emission reduction rate	Health improvements
Economy	1	0.44	0.48	0.38
Green competitiveness	3.52	1	2.73	1
Emission reduction rate	2.94	0.58	1	0.27
Health improvements	3.85	1.07	2.38	1

$$r_{ij}^* = \sqrt[k]{r_{ij}^1 \times r_{ij}^2 \times \dots \times r_{ij}^k} \quad (17)$$

여기서,  $r_{ij}^*$ 는  $k$ 명의 응답자로부터 얻어진 비 퍼지 값의 기하평균이다.

$$R^* = [r_{ij}^*] \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

본 연구 설문에서 일관성을 통과한 나머지 응답자 7명에 대해서 동일한 방법으로 비 퍼지 행렬을 구한 후 이를 통합한 비 퍼지 행렬  $R^*$ 을 구축하면 Table 4과 같다.

이제 마지막으로 중요도 가중치 벡터를 구할 수 있다. Opricovic과 Tzeng [11]는 식 (19)를 제안하였다. Table 4를 기준으로 하여,

우리나라 배출 저감 규제에 대한 타당성 평가를 위한 중요도 가중치 벡터를 경제성, 그린 경쟁력, 배출 저감 속도, 국민 건강개선 차원에서 구해보면  $\vec{w} = (0.109, 0.360, 0.169, 0.362)$ 로 도출된다.

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n r_{ij}^*\right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n r_{ij}^*\right)^{1/n}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (19)$$

### 3-4. 타당성 분석

타당성 분석을 위한 편익과 비용 관련 자료는 윤와 변[4]에서 산정된 2019년 기준 데이터를 적용한다. 그들이 산정한 비용과 편익 항목을 본 연구의 속성과 연계하면 Table 5와 같다.

**Table 5. Summary of benefits and costs and their concerned attributes**

Category	Amounts	Concerned attribute
Promotion activity (costs)	7,912,000,000	Economy
Conformity activity (costs)	562,186,830	Economy
On-site inspection and guidance activity (costs)	650,994,504	Economy
Innovative support activity(costs)	0	Green competitiveness
Plan preparation activity(costs)	2,810,974,755	Economy
Education/training activity(costs)	449,755,961	Economy
Facility installation and process- investment activity (costs)	114,748,998,821	Emission reduction rate
Maintenance and inspection activity (costs)	11,474,899,882	Emission reduction rate
Opportunity loss activity (costs)	37,077,931,745	Emission reduction rate
Direct-industry (benefits)	37,077,931,745	Emission reduction rate
Indirect-industry (benefits)	37,867,169,611	Green competitiveness
Stackholder (benefits)	107,360,182,384	Health improvements

**Table 6. Benefit-cost analysis of the Korean toxic reduction act with the reflection of fuzzy importance weights**

Category	Contents	Amounts	Weight	Weighted amounts
Costs	Economy	12,385,912,050	0.109	1,350,064,413
	Green competitiveness	0	0.360	0
	Emission reduction rate	163,301,830,448	0.169	27,598,009,346
	Health improvements	0	0.362	0
	Total	175,687,742,498	1	28,948,073,759
Benefits	Economy	0	0.109	0
	Green competitiveness	37,867,169,611	0.360	13,632,181,060
	Emission reduction rate	37,077,931,745	0.169	6,266,170,465
	Health improvements	107,360,182,384	0.362	38,864,386,023
	Total	182,305,283,740	1	58,762,737,548
B/C ratio with weight values		58,762,737,548 ÷ 28,948,073,759 = 2.029		

그리고 Table 5를 바탕으로 퍼지 중요도 가중치 벡터  $\vec{w}=(0.109, 0.360, 0.169, 0.362)$ 를 반영한 결과는 Table 6에 요약되어 있다. Table 6에 의하면, B/C 비율은 2.029이다. 중요도 가중치가 반영이 안 된 B/C 비율인 1.038보다 규제 프로그램의 높은 타당성 정도를 보였다. 따라서 환경부 규제영향분석 보고서에 제시된 비율인 1.132보다 높은 타당성 정도를 보여 주었다[14].

#### 4. 결 론

규제의 타당성 증거로 ‘사회-시장 경제성’을 밝히고자 도입되는 편익-비용 분석에서 경제성뿐 아니라 정책 관련 속성(기준)의 중요도 가중치 반영은 핵심 역할을 한다. 그러나, 속성의 중요도에 대한 전문가의 응답이 애매하여 의사 결정에 편차가 발생한다. 이를 제거하기 위한 방법론으로 퍼지-AHP가 활용되고 있다.

본 연구에서는 이의 적용 절차에서 본 바와 같이, 2019년 11월부터 시행되고 있는 우리나라의 ‘배출 저감 계획’이라는 규제의 타당성 분석에 적용하였다. 가중치 속성으로는 경제성, 그린 경쟁력, 배출 저감 속도, 국민건강 개선으로 선정하고, 퍼지 중요도 가중치를 CFCS 알고리즘으로 산정하였다. 설문 응답 자료를 바탕으로 한 Crisp Value(명확한 가치)로 계산된 퍼지 중요도 가중치 벡터는  $\vec{w}=(0.109, 0.360, 0.169, 0.362)$ 로 도출되었다. 그리고, 이 수치를 반영한 B/C 비율은 2.029로 나타났다. 중요도 가중치가 반영이 안 된 B/C 비율인 1.038보다 높게 나타났다. 따라서 환경부 규제영향분석 보고서에 제시된 비율인 1.132보다 높은 타당성 정도를 보였다.

#### 감 사

본 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C2006888).

#### Reference

1. Shin, Y. C., “Establishment of Socioeconomic Analysis Base for Chemical Substance Management (I-II),” National Institute of Environmental Sciences (2017).
2. TO21, “Research on Institutionalization of Chemical Emission Reduction,” Ministry of Environment (2019).
3. KDI, “AHP Decision-making Characteristics Analysis,” KDI, Center for Regulatory Studies (2013).
4. Yoon, J. S. and Byun, H. S., “A Revised Benefit-cost Analysis of the Korean TUR Program,” *Clean Technol.*, **26**(3), 168-176 (2020).
5. Tzeng, G. H. and Huang, J. J., “Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications,” p. 63 (2011).
6. Satty, T. L., *The analytic hierarchy process*, McGraw Hill, New York (1980).
7. Zahedi, F., “The Analytic Hierarchy Process - A Survey of the Method and its Application,” *Interfaces*, **16**(4), 96-108(1986).
8. Laarhoven, P. J. M. and Pedrycz, W., “A Fuzzy Extension of Saaty’s Priority Theory,” *Fuzzy Sets and Systems*, **11**, 229-241 (1983).
9. Csutora, R. and Buckley, J. J., “Fuzzy Hierarchical Analysis: The Lambda-max Method,” *Fuzzy Sets and Systems*, **120**, 181-195 (2001).
10. Chang, D., Jing, Y. and Zhu, K., “A Discussion on Extent Analysis Method and Application of Fuzzy AHP,” *European Journal of Operational Research*, **116**, 450-456(1998).
11. Opricovic, S. and Tzeng, G. H., “Defuzzification Within a Multicriteria Decision Model,” *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, **11**, 635-652(2003).
12. Choi, K. H. and Han, D. W., “The Fuzzy AHP Approach to the Relative Importance of the Deciding Factors for Admission Screening,” *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **21**(4), 699-708(2010).
13. Kim, S. M. and Kahng, H. K., “A Fuzzy AHP Approach to the Measurement of Weights of Customer Satisfaction Factors in Campus Intranet Service,” *International Journal of Production Economics*, **87**, 153-178(2004).
14. Ministry of Environment, Analysis of regulatory impact related to preparation/submission/disclosure of chemical reduction plan, Interim Report (2019).