

물 인프라 지속가능성 지수 분석: 가중치 분석과 군집분석을 활용하여

류재나* · 강대운**

Ryu, Jaena*, Kang, Daewoon**

Analysis of Water Infrastructure Sustainability Index: Using Weighting and Cluster Analysis

ABSTRACT

The purpose of this study is to raise the necessity of ensuring sustainability of water infrastructures in economic, social and environmental sectors by using index that evaluates the sustainability centering on water supply and wastewater utilities. This study identified sub-indexes that should be stressed among different indexes in economic, social and environmental aspects and those indexes were compared by each clusters of cities. The principal component analysis was used to calculate the weights of the sub-indexes, and the k-mean cluster analysis was conducted to classify the clusters. As a result of the weighting analysis, financial independence, service revenue ratio, subsidy ratio, population coverage ratio, deterioration, stream/river ecosystem health and river water quality were found to be the major variables in assessing sustainability. Cities were then classified into two groups using the k-mean cluster analysis. The overall sustainability scored high in the economic sector was relatively satisfactory, but it was necessary to improve the environmental sustainability. The group with relatively good environmental sustainability showed low score in the overall sustainability and required improvements in the economic sector.

Key words : Water infrastructure sustainability, Water environment service, Sustainability index, Weighting analysis, Cluster analysis

초 록

본 연구의 목적은 상하수도 시설을 중심으로 한 물 인프라의 지속가능성을 평가하는 지수들을 활용하여 경제, 사회, 환경적 측면에서의 지속가능성을 평가하고 지속가능성 확보 필요성을 제고하기 위함이다. 경제, 사회, 환경적 지수 중 중요하게 고려해야할 세부지수들을 파악하고, 전국 지자체를 유형화하여 집단 간 특성을 비교분석하였다. 세부 지수의 가중치 산출은 주성분 분석을 활용하였으며, 지자체를 유형화하는 과정에는 K-평균 군집분석을 시행하였다. 가중치 분석 결과, 전체 12개의 지수 중 재정자립도, 자본수입비율, 보조금비율, 서비스보급률, 노후화율, 수생태건강성, 하천수질이 지속가능성을 평가하기 위한 주요한 변수로 분석되었으며, 특히, 경제부문 지수의 영향력이 가장 높은 것으로 나타났다. 다음으로는 군집분석 결과를 통해 지자체를 크게 두 가지 유형으로 분류하였고, 각 유형 별 특징을 살펴보았다. 먼저 경제부문의 지속가능성이 우수한 집단에서는 환경부문에 대한 개선이 필요한 것으로 나타났지만, 대체로 지속가능성 상태가 우수한 것으로 나타났다. 환경부문이 우수한 집단에서는 지속가능성 상태가 열악한 지자체가 많이 포함되어 있으며, 특히, 경제부문 상태를 향상시키기 위한 집중적인 노력이 필요한 것으로 보인다.

검색어 : 물 인프라 지속가능성, 물환경 서비스, 지속가능성 지수, 가중치분석, 군집분석

* 교신저자 · 한국환경정책·평가연구원 물국토연구부 (Corresponding Author · Korea Environment Institute · jnryu@kei.re.kr)

** 정회원 · 한국환경정책·평가연구원 물국토연구부 (member · Korea Environment Institute · dwkang@kei.re.kr)

Received December 14, 2017/ revised January 27, 2018/ accepted April 16, 2018

1. 서론

우리나라는 상수 이용을 위한 물 인프라(상수도 시설, 다목적댐, 농업기반 수리시설 등)의 보급을 1950년대부터 본격적으로 시작하였으며, 이후 하수도시설, 용수 전용댐 등의 하수도 인프라가 점차 건설되었다. 그간 이루어진 물 인프라의 양적 확대 정책으로 인하여, 상·하수도 서비스의 공급은 만족할 만한 수준인 것으로 사료된다(2014년 기준, 상수도 보급률은 96.1%, 하수도 보급률은 92.5%) (Kang et al., 2016). 반면, 2014년 기준 시설의 노후화율은 27%이며, 이는 약 20년 후인 2035년에는 72.3%로 크게 증가할 전망이다. 노후화가 급격히 진행되고 있는 상황에서, 물 인프라의 보수비용 상승이 예측되어지는 반면, 인프라 관리를 위한 지방자치단체 재원의 불충분함 등에 대응하기 위한 재정건전성에 대한 제고가 필요한 시점이다. 또한, 현재의 물 인프라 관리체계에는 환경적 측면과 사회적 측면의 서비스 제공을 위한 노력이 심도 있게 고려되지 않은 실정이다. 물환경 서비스는 사회, 경제, 환경적 측면이 통합적으로 고려되어야 하며, 적절한 유지관리 전략을 수반한 시설의 재투자를 통해 서비스가 지속적으로 제공되어야 한다. 이를 위해서는 사회, 경제, 환경적 측면의 지속가능성을 평가하기 위한 체계가 우선 정립되어야 하며, 평가 결과를 반영하여 지속가능성을 도모할 필요가 있다(Lee et al., 2014; Kang et al., 2015; Kang et al., 2016).

물서비스에 관한 지속가능성에 대한 개념 정립은 국내에서는 시작단계이지만, 국외에서는 보다 많은 연구가 진행되었다. Brattebo et al.(2013)는 도시 물서비스의 지속가능성을 확보하기 위해서는 미래를 대비하면서, 현재의 상태를 지속할 수 있는 방법을 이용해야 한다고 하였다. UNESCO(2015)는 수자원의 지속가능성을 도모하기 위한 모델의 개발과 거버넌스 확립이 필요하며, 지속가능성의 미확보는 수자원에 대해 양적, 질적인 문제의 야기뿐만이 아니라, 사회·경제적 편익의 감소를 나타낼 것이라 하였다.

이러한 필요성을 인식한 유럽 및 호주 등의 국가에서는 이미, 물 인프라 서비스를 평가하고 평가 결과를 통해 두각된 문제점을 개선하기 위해 노력하고 있다. 호주의 경우는 물서비스 평가를 위한 법제화를 통해 평가체계를 정립시켰으며, 유럽연합 또한 물서비스 평가를 위한 법 제정을 추진하고 있다. 국내에도 물 인프라와 물서비스에 대한 평가가 정책과 연결될 수 있도록 하는 관점의 변화가 필요하다고 할 수 있다.

이와 같은 실정에서, Kang et al.(2016)은 국내 물 인프라의 지속가능성을 평가하기 위한 평가체계를 수립하고자 경제, 사회, 환경 부문으로 구성된 총 12개의 지속가능성 평가 지수(Sustainability Index, SI)를 제안하였다. Kang et al.(2016)은 국내·외에서 상·하수도 및 물 인프라 평가체계를 구축하려던 시도와는 다르게 장기적으로 자료 수집이 가능한 평가 항목들을 선별하여 평가항목

을 구성하였으며, 각 항목별 지속가능성 상태를 비교·분석하기 위하여 정규화를 적용했다는 점에서 물 인프라 평가체계를 확립하는 데 의미 있는 시도였다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 국내 물 인프라의 지속가능성 상태를 점검하기 위한 분석 자료로 Kang et al.(2016)이 개발한 평가 지수를 활용하여 전국 물 인프라 지속가능성 상태를 파악하고자 하였다.

본 연구에서는 국내 물 인프라 지속가능성을 점검하기 위하여 크게 3가지 절차를 수행하였다. 첫 번째로, 이미 제안된 12개 지속가능성 지수 값을 산출한다. 두 번째로, 산출한 지수를 활용하여 지속가능성을 전반적으로 평가하는 데 있어서 상대적으로 더 중요하게 고려해야 할 항목을 살펴보기 위해 가중치 분석을 시행하고, 세 번째로, 지속가능성 지수 산출 결과와 가중치 분석 결과를 기반으로 국내(전국 지자체)에서 나타나는 지속가능성 평가결과의 유형과 이에 따르는 특성을 파악하는 절차를 시행한다.

주요 지수를 도출하기 위한 방법으로 주성분 분석 결과를 활용한 가중치 산출 방식을 활용하였다. 대체로 변수의 가중치를 산출하기 위한 방법으로 전문가의 설문조사 결과를 바탕으로 하는 계층 분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)이 주로 활용되지만, 본 연구에서는 주관을 배제하여 변수의 가중치를 객관적으로 산출하는 것에 초점을 두어 분석하였다. 이런 방법을 시도한 선행연구로 OECD(2008)는 종합지표(composite indicators)의 가중치를 객관적으로 산출하기 위하여 주성분 분석방법을 활용하는 것을 제안하였다. 이 가중치 도출 방법을 적용한 선행연구는 다음과 같다. Gómez-Limón and Sanchez-Fernandez(2010)는 농업의 지속가능성을 평가하기 위하여, 주성분 분석과 AHP를 활용하여 종합 지표의 가중치를 산출하고, 이를 종합하여 각 지역별 농업의 지속가능성을 평가하였다. Nguefack-Tsague et al.(2011)는 주성분 분석을 활용하여 인간개발지수(Human Development Index, HDI)를 구성하는 세부 지수의 중요도를 분석하였다. Jiang and Shen(2013)는 도시 경제성을 부문(경제, 사회, 환경) 별로 지표를 구성하고, 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)을 이용하여 지표별 가중치를 제시하였다.

군집분석은 자료를 유형화하고, 집단 간 특성을 파악하는데 유용한 분석방법이며, 이 분석 방법은 이미 여러 분야에서 널리 사용되고 있다. Kim et al.(2007)은 IWA (International Water Association)의 하수도 평가 지표를 기반으로 평가 항목을 구성하여 하수도 시설 관리 및 운영을 평가하였으며, 군집분석을 활용하여 평가결과를 유형화하여 특성을 파악하였다. Ahn et al.(2014)는 주성분 분석과 군집분석 결과를 기반으로 전국 표준유역에 대한 수문학적 군집화를 수행하였다. Lee et al.(2017)는 주성분 분석과 군집분석 수행을 통해 지역적 및 계절적 수질변화를 평가하였다. 물환경 분야뿐만 아니라, 소비패턴 분석, 최적 입지 분석, 시장

세분화 등 다양한 연구 분야에 응용되고 있다.

본 연구의 목적은 주성분 분석을 활용한 평가 지수의 가중치 도출을 통해 물 인프라의 지속가능성을 확보하는데 중요하게 고려해야 할 항목을 제안하고, 도출한 가중치를 반영한 군집분석 결과를 활용하여 지자체 유형의 특성을 비교 분석, 국내 지자체의 지속가능성 상태를 파악하고, 유형 별로 시급히 보완해야 할 부분을 제안하는 것이다.

2. 분석 방법

2.1 주성분 분석

주성분 분석은 서로 연관 가능성이 있는 다양한 변수들의 상호관계를 이용하여 많은 변수들 중 소수의 새로운 변수(주성분)를 추출하기 분석 방법으로 이미 여러 분야에서 널리 활용되고 있다. 주성분 분석에서는 원래의 자료를 구성하는 세부지수들과 요인별 요인적 재값(factor loadings)을 활용하여 주성분 변수를 도출한다(Jolliffe, 1986). 예를 들어, 12개의 세부지수가 있을 경우, 새로운 요인 점수는 Z (1×12 의 벡터)로 나타낼 수 있다. 산출된 변수 주성분 변수, Z 는 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 요인적재값 L 은 Eq. (2)처럼 표현할 수 있다.

$$Z = XS^T = \begin{bmatrix} z_1 = a_{1,1}x_1 + a_{1,2}x_2 + \dots + a_{1,11}x_{11} + a_{1,12}x_{12} \\ z_2 = a_{2,1}x_1 + a_{2,2}x_2 + \dots + a_{2,11}x_{11} + a_{2,12}x_{12} \\ \dots \\ z_{12} = a_{12,1}x_1 + a_{12,2}x_2 + \dots + a_{12,11}x_{11} + a_{12,12}x_{12} \end{bmatrix},$$

X: 세부지수(1×12 벡터) (1)

$$L = \begin{pmatrix} \overrightarrow{a_1} \\ \overrightarrow{a_2} \\ \dots \\ \overrightarrow{a_{12}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,12} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,12} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{12,1} & a_{12,2} & \dots & a_{12,12} \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.2 군집 분석

군집분석이란 많은 객체들을 일정한 속성에 따라 몇 개의 군집으로 분류하여, 같은 군집에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 객체간의 상이성을 규명하고자 하는 통계분석방법이며(Won and Jeong, 2004), 본 연구에서는 K-평균 군집분석(k-means cluster analysis)을 활용하여 분석하였다. Christopher(2006)에 의하면, k-평균 군집분석은 분석 자료를 K개의 군집으로 분류하고 각 관측치가 어떤 군집 유형에 속하는지 확인하는데 유용한 분석방법이다. 임의의 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 데이터 집합을 가정하였을 때, 이 데이터 집합은 총 N개의 관측치 수와 D개 차원을 갖는다. D개 차원의 벡터를 μ_k 로 정의하고, 여기서 k의 범위는 1부터 K 라고하

면, μ_k 는 여러 군집들의 중심이라고 간단히 설명할 수 있다. 이 분석의 최종 목적은 관측치를 특정 유형의 군집으로 할당하는 것뿐만 아니라, 가장 가까운 μ_k 와 각 자료의 거리의 합을 최소화할 수 있는 $\{\mu_k\}$ 의 집합을 찾는 것이다.

각 자료 지점 x_n 에서, binary 지표 변수는 $r_{nk} \in \{0, 1\}$ 이고, x_n 은 k번째 클러스터에 할당된 것으로 가정한다. 여기서, $r_{nk}=1$ 이지만, x_n 이 k번째 이외의 클러스터에 속한 경우($j \neq k$), $r_{nj}=0$ 이 된다. 목적함수는 왜곡측정(distortion measure) 함수라고도 불리며, Eq. (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$J = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K r_{nk} \|x_n - \mu_k\|^2 \quad (3)$$

Eq. (3)은 벡터 μ_k 와 각 자료 지점의 거리의 합을 표현한다. 이 수식은 J 를 최소화하는 r_{nk} 와 μ_k 를 찾는 것이 목표이다. 반복적인 절차를 통해, r_{nk} 와 μ_k 를 계산하기 위해서 다음의 두 개의 절차가 필요하며, 이 계산 과정을 반복함으로써 최적의 r_{nk} 와 μ_k 의 찾는 것이 가능하다. 첫 번째로, μ_k 의 초기값을 설정하고 이 값을 고정된 채, J 를 최소화하기 위한 r_{nk} 를 찾는다. 두 번째 절차는 첫 번째 단계에서 얻은 r_{nk} 를 고정시키고 J 를 최소화하기 위한 μ_k 를 찾는다.

3. 실증분석

3.1 분석자료 및 기초통계

물 인프라 지속가능성 지수는 경제, 사회, 환경부문으로 분류되며, 본 연구에서 분석한 12개 지수를 산출하기 위해 사용된 자료의 산출방식 및 출처는 Table 1과 같다. 경제부문을 타나내는 지수는 재정자립도, 자본수입비율, 보조금비율, 요금현실화율이다. 재정자립도는 지자체의 재정 건전성을 파악하기 위한 지표이며, 이는 지자체의 예산 대비 자체 수입(지방세 및 세외 수입)의 비율을 의미한다. 자본수입비율과 보조금비율은 상하수도 사업의 자체 또는 외부 재원의 의존도를 알아보기 위한 항목이다. 요금현실화율은 서비스 생산 원가 대비 단가의 비율로 적정 수준의 요금인지 파악하는데 활용되고, 이용 요금은 상하수도 사업의 중요한 수입원이기 때문에 사업재원의 확보가능성을 기증하기 위한 수단으로도 의미가 있다고 할 수 있다.

사회부문은 서비스 보급률, 민원건수, 단수시간, 노후화율의 지표가 포함된다. 서비스 보급률은 서비스 보급의 공평성을 평가하기 위한 목적으로 지표로 도입하였으며, 민원건수와 단수시간은 상하수도 서비스의 지역 간 품질 형평성을 측정하기 위한 목적으로 활용하였다. 노후화를 또한 서비스 품질의 형평성을 평가하기 위한

Table 1. Sustainability Indicators

Group	Indicator	Direction	Source
Economic sector	Financial independence (%)	+	Statics Korea
	Service revenue ratio (%)	+	Statistics of waterworks/sewerage
	Subsidy ratio (%)	-	Statistics of waterworks/sewerage
	Pricing rate (%)	+	Statistics of waterworks/sewerage
Social sector	Population coverage ratio (%)	+	Statistics of waterworks/sewerage
	Complains (number/10,000 customers)	-	Statistics of waterworks/sewerage
	Water supply suspension	-	Statistics of waterworks
	Deterioration rate (%)	-	National waterworks information system
Environmental sector	Stream/river ecosystem health	+	National institute of environmental research
	River water quality (mg/L)	-	Water information system
	Pollution treatment efficiency (%)	+	Statistics of sewerage
	Leakage rate (%)	-	Statistics of waterworks

지표 중 하나이며, 준공된 지 30년 이상이 된 상수도시설(취수장, 정수장, 소규모급수시설)의 비율로 산출된다.

환경부문은 수생태건강성, 하천수질, 생활하수 유입부하 처리율, 누수율로 구성된다. 수생태건강성은 부착돌말지수(Trophic Diatom Index, TDI), 저서동물지수(Benthic Macroinvertebrates Index, BMI) 및 어류생물지수(Fish Assessment Index, FAI)를 통해 산정되며, 하천의 수생태계 및 생물다양성의 상태를 파악하기 위한 목적으로 활용하였다. 하천수질은 생화학적 산소 요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD)와 총 인(Total Phosphorus, T-P) 농도를 활용하여 하천으로 유입되는 오염물질 수준을 점검하는데 용이하고 생활하수 유입부하 처리율은 지자체 내 공공하수처리시설의 오염물질 처리능력을 파악하기 위한 지표이다. 누수율은 누수량의 비율을 의미하며, 이용가능한 수자원을 보존하기 위해 효율적인 물 공급체계가 구축되어 있는지 평가하기 위한 항목이다.

위의 12개 지표는 단위가 일치하지 않기 때문에, 지표의 표준화 작업을 통해 평가 기준을 통일한 지수로 나타내었다. Kang et al.(2016)이 제안한 방법을 활용하여 12개 모든 지표값의 범위 (0~100)와 방향성(수치가 높을수록 긍정적인 상태)을 일치시키도록 조정하여, 지속가능성 상태를 파악할 수 있도록 하였다. 재정자립도, 자본수입비율, 보조금비율, 요금현실화율, 서비스보급률, 노후화율, 수생태건강성, 하천수질, 하수오염물질 처리율, 누수율은 도달하고자 하는 목표 수치가 있기 때문에 목표 기준 표준화 방식을 따르며, 지표 값의 범위가 무한하게 산출되는 민원건수와 단수시간 지표는 최대-최소 표준화 방식을 적용하였다. 단, 하나의 지속가능성 항목이 2개 이상의 세부 지표로 평가된 경우에는 각 지표로 계산된 지수로부터 하나의 산술 평균을 계산하여 해당 SI 산정에 포함했다. 즉, 환경지수 중 하천 수질과 하수 오염물질 처리율 지수는 각각 BOD와 T-P로 목표기준 지수를 계산한 뒤 그 지수들의

산술평균으로 계산했다.

3.1.1 목표 기준 표준화 방식

·지표 수치가 클수록 긍정적 상태:

$$I_{j,k,t} = \begin{cases} 100 \\ I_{j,k,t} = \frac{x_{j,k,t} - avoid_j}{ideal_j - avoid_j} \times 100 \\ 0 \end{cases}$$

·지표 수치가 클수록 부정적 상태:

$$I_{j,k,t} = \begin{cases} 100 \\ I_{j,k,t} = 100 - \frac{x_{j,k,t} - avoid_j}{ideal_j - avoid_j} \times 100 \\ 0 \end{cases}$$

3.1.2 최대 최소 표준화 방식

·지표 수치가 클수록 긍정적 상태:

$$I_{j,k,t} = \frac{x_{j,k,t} - \min_j}{\max_j - \min_j} \times 100$$

·지표 수치가 클수록 부정적 상태:

$$I_{j,k,t} = 100 - \frac{x_{j,k,t} - \min_j}{\max_j - \min_j} \times 100$$

여기서 I 는 세부 지수, x 는 평가지표, j 는 세부 평가 부문, k 는 지방자치단체, t 는 평가 연도, $ideal$ 과 $avoid$ 는 각각 가장 우수한 상태 및 가장 기피해야 할 상태에 해당하는 지표 값, \max 와 \min 은 모든 평가 대상 중 해당 지표의 최댓값과 최솟값을 의미한다.

분석은 전국 지자체를 대상으로 수행하였으며, 2008년과 2015

Table 2. Summary Statistics of Sustainability Indexes

Index	Year 2008				Year 2015			
	Max	Min	Average	Variation coefficient	Max	Min	Average	Variation coefficient
Financial independence	88.3	6.4	27.3	0.7	72.0	7.4	25.5	0.6
Service revenue ratio	97.7	4.5	47.2	0.5	100.0	6.4	48.6	0.5
Subsidy ratio	97.7	4.5	47.6	0.5	100.0	6.4	48.6	0.5
Pricing rate	93.7	20.6	56.4	0.3	93.0	1.7	40.4	0.5
Population coverage ratio	100.0	28.7	71.9	0.3	100.0	43.7	82.8	0.2
Complains	100.0	1.6	72.7	0.4	99.6	1.1	69.7	0.4
Water supply suspension	100.0	0.4	72.0	0.5	100.0	0.7	83.1	0.3
Deterioration rate	100.0	0.0	80.6	0.2	100.0	0.0	64.4	0.3
Stream/river ecosystem health	91.6	0.0	57.2	0.3	95.5	13.1	56.2	0.3
River water quality	96.3	0.0	71.6	0.3	96.3	15.5	80.7	0.2
Pollution treatment efficiency	96.1	40.0	80.6	0.1	99.3	43.9	93.4	0.1
Leakage rate	97.7	44.2	79.8	0.1	100.0	37.3	78.2	0.2

Table 3. Results of Principal Component Analysis (Year 2008)

Factor	Initial eigenvalue			Eigenvalue by Varimax rotation		
	Eigenvalue	Variance (%)	Cumulation (%)	Eigenvalue	Variance (%)	Cumulation (%)
1	4.818	40.152	40.152	3.459	28.828	28.828
2	1.306	10.882	51.034	2.506	20.884	49.712
3	1.205	10.042	61.076	1.364	11.364	61.076

년의 평가 결과를 비교하였다. 앞서 소개한 12개 지수를 모두 수집할 수 있는 기간이 2008년부터이며, 가장 최근 자료로 활용할 수 있는 시점은 2015년이기 때문에 두 시점을 기준으로 분석하였다. 2008년 분석대상이 지자체는 총 160개이며, 서울특별시 등 광역 단위 지자체는 8개, 시 단위 지자체는 75개, 군 단위 지자체는 77개이다. 2012년 세종시의 출범으로 인해, 2015년에는 총 161개의 지자체를 대상으로 분석하였다. Table 2는 2008년 및 2015년 분석대상 지자체의 12개 지수에 대한 기초 통계값을 보여준다.

3.2 지수 가중치 분석결과

3.2.1 2008년 지속가능성 지수의 가중치 분석

지속가능성의 세부지수 별 가중치를 산출하기 위해 Nardo et al.(2005)이 제안한 가중치 산출 기법을 활용하였다. 분석에 앞서, 2008년에는 전국 160개 지자체 중 결측치가 있는 30개 지자체를 분석에서 제외하였고, 2015년에는 전국 161개 지자체 중 결측치가 있는 19개 지자체를 제외하였다. 먼저, 주성분 분석을 시행하여, 12개 지수의 정보를 압축·요약하는 주요 요인을 선별하였으며, Table 3은 2008년도의 주성분 분석 결과를 보여준다. 주성분 분석에서는 고유값이 1 이상으로 산출된 요인이 설명력이 높다고 판단하게 되며, 고유값이 1 이상으로 산출된 요인은 총 3개이다. 이 요인들

은 지자체 세부 지수들의 정보 중 61.6%를 설명할 수 있어, 이 3개 요인들의 설명력은 상당히 높은 수준이라 할 수 있다. 베리맥스(varimax) 직각 회전방법을 사용하여 추출된 요인을 특성을 명확화 하였으며, 직각회전을 이용한 요인의 고유값(eigenvalue)을 활용하여 분석하였다.

추출된 3개 요인 내에서 12개 세부 지수가 각각 갖는 비중을 계산한 결과는 Table 4에 나타내었다. 제공한 요인적재값¹⁾은 각 요인 내의 세부지수의 가중치를 의미하며, 요인 1의 재정자립도 비중은 $0.147 (0.147=0.714^2/3.459)$ 으로 조정하였으며, 이와 같은 방식으로 각 요인 내 지수의 비중을 산출하였다.

마지막 단계로써 앞에서 산출한 수치들을 이용하여 최종적인 지수의 가중치를 도출하였다(Table 5). 각 세부지수의 제공한 요인적재값이 최대 수치가 나타난 요인의 비율을 반영하여 요인적재값을 산출하였으며, 이는 궁극적으로 해당 요인의 가중치와 요인 내 지수의 가중치가 모두 반영된 수치이다. 가중치는 합이 1이

1) 통계프로그램 SPSS에서 요인적재값은 *eigenvector* (v , 12×1 행벡터) $\times \sqrt{\text{eigenvalue}(\lambda)}$ 으로 산출된다. 고유벡터 요소들을 제공하여 더하면 1이 되는 조건을 적용하면, 요인적재값을 제공하여 합한 값은 고유값(λ)과 같아진다. Table 4의 제공한 요인적재값은(요인별 세부지수의 요인적재값의 제곱/각 요인의 고유값) 방식으로 산출됨.

Table 4. Factor Loadings of Sustainability Indexes Based on Principal Components Analysis (Year 2008)

Index	Factor loadings by Varimax rotation			Squared factor loadings (scaled to unity sum)		
	Factor			Factor		
	1	2	3	1	2	3
Financial independence	0.714	0.517	0.184	0.147	0.107	0.025
Service revenue ratio	0.855	0.305	0.090	0.211	0.037	0.006
Subsidy ratio	0.857	0.303	0.092	0.212	0.037	0.006
Pricing rate	0.274	0.507	0.291	0.022	0.103	0.062
Population coverage ratio	0.754	0.227	0.243	0.164	0.021	0.043
Complains	0.254	-0.004	0.646	0.019	0.000	0.306
Water supply suspension	-0.572	-0.172	0.096	0.095	0.012	0.007
Deterioration rate	0.102	-0.090	-0.859	0.003	0.003	0.541
Stream/river ecosystem health	0.025	-0.890	-0.028	0.000	0.316	0.001
River water quality	-0.263	-0.836	0.033	0.020	0.279	0.001
Pollution treatment efficiency	0.468	-0.094	0.064	0.063	0.004	0.003
Leakage rate	0.387	0.457	-0.003	0.043	0.083	0.000
Eigenvalue	3.459	2.506	1.364			
Ratio (%)	47.2%	34.2%	18.8%			

Table 5. Weightings of Sustainability Indexes (Year 2008)

Index	Squared factor loadings (A)	Ratio of factor (B)	(A)×(B)	Weighting
Financial independence	0.147	0.472	0.070	0.082
Service revenue ratio	0.211	0.472	0.100	0.118
Subsidy ratio	0.212	0.472	0.100	0.118
Pricing rate	0.103	0.342	0.035	0.041
Population coverage ratio	0.164	0.472	0.078	0.092
Complains	0.306	0.186	0.057	0.067
Water supply suspension	0.095	0.472	0.045	0.053
Deterioration rate	0.541	0.186	0.101	0.119
Stream/river ecosystem health	0.316	0.342	0.108	0.128
River water quality	0.279	0.342	0.095	0.113
Pollution treatment efficiency	0.063	0.472	0.030	0.035
Leakage rate	0.083	0.342	0.028	0.034
Total			0.846	1

되도록 조정하였다. 물 인프라의 지속가능성을 12개 지수를 이용하여 종합적으로 평가할 때 모든 지수의 중요도가 동등하다는 가정(0.083)과 본 연구에서 도출된 가중치 분석결과와 비교해보면, 지수마다 가중치가 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 분석결과, 12개의 지수 중 경제부문의 자본수입비율과 보조금비율, 사회부문의 서비스보급률과 노후회율, 환경부문의 수생태 건강성과 하천수질이 0.092~0.128 범위에서 산출되어 다른 지수와 비교하여 상당히 높은 가중치가 나타났으며, 이 지수들은 물 인프라의 지속가능성 평가에 특히 중요한 변수라 해석할 수 있다.

3.2.2 2015년 지속가능성 지수의 가중치 분석결과

2015년을 기준으로 한 12개 세부 지수의 가중치 분석 또한 2008년과 동일한 과정을 통해 수행하였고, 첫 단계인 주성분 분석결과는 Table 6과 같다. 고유값이 1 이상으로 계산된 요인은 총 4개이며, 이 요인들은 전체 지수의 정보 중 71.2%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 앞서 설명했던 것처럼, 추출한 요인의 특성을 보다 명확히 정의하기 위하여 베리맥스(varimax) 직각 회전을 한 결과를 활용하였다(Table 6).

Table 7는 추출한 요인과 지수의 상관관계를 의미하는 요인적재

Table 6. Results of Principal Component Analysis (Year 2015)

Factor	Initial eigenvalue			Eigenvalue by Varimax rotation		
	Eigenvalue	Variance (%)	Cumulation (%)	Eigenvalue	Variance (%)	Cumulation (%)
1	5.068	42.232	42.232	4.455	37.121	37.121
2	1.262	10.515	52.747	1.721	14.345	51.465
3	1.201	10.005	62.751	1.305	10.878	62.343
4	1.131	9.427	72.179	1.18	9.836	72.179

Table 7. Factor Loadings of Sustainability Indexes Based on Principal Components Analysis (Year 2015)

Index	Factor loadings by varimax rotation				Squared factor loadings (scaled to unity sum)			
	Factor				Factor			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Financial independence	0.859	-0.227	0.066	-0.05	0.166	0.030	0.003	0.002
Service revenue ratio	0.915	-0.235	0.06	0.005	0.188	0.032	0.003	0.000
Subsidy ratio	0.915	-0.234	0.059	0.005	0.188	0.032	0.003	0.000
Pricing rate	0.691	-0.107	0.172	-0.229	0.107	0.007	0.023	0.044
Population coverage ratio	0.834	-0.097	0.084	-0.03	0.156	0.005	0.005	0.001
Complains	0.14	-0.2	0.755	0.097	0.004	0.023	0.437	0.008
Water supply suspension	-0.29	-0.146	-0.084	0.643	0.019	0.012	0.005	0.350
Deterioration rate	-0.051	-0.095	-0.806	0.055	0.001	0.005	0.498	0.003
Stream/river ecosystem health	-0.217	0.884	0.004	0.022	0.011	0.454	0.000	0.000
River water quality	-0.328	0.807	-0.105	-0.028	0.024	0.379	0.008	0.001
Pollution treatment efficiency	0.246	0.145	0.124	0.787	0.014	0.012	0.012	0.525
Leakage rate	0.74	-0.117	0.055	0.28	0.123	0.008	0.002	0.066
eigenvalue	4.455	1.721	1.305	1.180				
Ratio (%)	51.4%	19.9%	15.1%	13.6%				

Table 8. Weightings of Sustainability Indexes (Year 2015)

Index	Squared factor loadings (A)	Ratio of factor (B)	(A)×(B)	Weighting
Financial independence	0.166	0.514	0.085	0.094
Service revenue ratio	0.188	0.514	0.097	0.107
Subsidy ratio	0.188	0.514	0.097	0.107
Pricing rate	0.107	0.514	0.055	0.061
Population coverage ratio	0.156	0.514	0.080	0.089
Complains	0.437	0.151	0.066	0.073
Water supply suspension	0.350	0.136	0.048	0.053
Deterioration rate	0.498	0.151	0.075	0.083
Stream/river ecosystem health	0.454	0.199	0.090	0.100
River water quality	0.379	0.199	0.075	0.083
Pollution treatment efficiency	0.525	0.136	0.071	0.079
Leakage rate	0.123	0.514	0.063	0.070
Total			0.903	1

값과 요인 내 각 지수의 비중을 나타낸다. 제공한 요인적재값은 각 요인 내의 세부지수의 가중치를 의미하며, 요인 1의 재정자립도

비중은 0.166 ($0.166=0.859^2/4.455$)으로 조정하였고, 같은 방식으로 요인 내 다른 지수의 비중을 계산하였다.

2015년 최종 가중치 산출 결과 또한 모든 지수에 가중치를 균등하게 부여한 경우(0.083)와 상이한 것을 확인할 수 있다. 12개 지수 중 가중치가 0.083 이상으로 분석된 지수는 7개로 나타난 것으로 보아, 일부 지수에 중요도가 집중되어 있는 것으로 나타났다 (Table 8). 재정자립도, 자본수입비율, 보조금비율, 서비스 보급률, 노후화율, 수생태 건강성, 하천수질은 0.083~0.107 수준으로 상당히 높은 수치로 계산된 반면, 요금현실화율, 민원건수, 단수시간, 오염물질처리율, 누수율은 0.053~0.079 수준으로 낮게 산출된 결과로 분석된 것으로 보아, 2015년에도 2008년의 결과와 마찬가지로 세부 지수들의 가중치 차이가 분명하게 나타났다. 2008년과 비교하여 수치의 차이는 다소 존재하지만, 2008년에 주요한 지수로 도출된 항목 모두 2015년에도 지속가능성을 평가하는데 중요한 변수로 나타났다. 다만, 재정자립도만이 주요 변수로 새롭게 추가되었다.

3.2.3 부문별 지속가능성 지수의 중요도 변화

지속가능성 세부 지수의 중요도가 과거와 비교하여 어떻게 변화했는지 차이를 확인하기 위하여, 위의 2008년과 2015년 분석결과를 토대로 시기 별로 나타나는 특징을 살펴보았다. 먼저 경제부문을 살펴보면, 재정자립도와 보조금비율은 2008년에 비해 가중치가 낮아졌지만, 여전히 평균 가중치 0.083 보다 높은 수준으로 물 인프라의 지속가능성을 평가하는데 주요한 변수인 것은 변함없다. 자본수입비율과 보조금비율과는 다르게 2015년 재정자립도와 요금현실화율의 가중치는 2008년과 비교하여 각각 0.012와 0.02 상승하여, 경제부문 가중치는 2008년 0.359에서 2015년 0.369로 높아졌으며, 경제부문이 국내 물 인프라의 지속가능성을 평가하는데 가장 중요한 역할을 하는 것을 유추할 수 있다.

사회부문의 경우, 2015년 서비스 보급률의 가중치는 0.089으로 2008년에 비해 큰 변화가 나타나지 않았지만, 여전히 지속가능성을 평가하는데 중요한 변수인 것으로 나타났다. 민원건수와 단수시간 또한 서비스 보급률과 마찬가지로 가중치의 변화는 크지 않았다. 민원건수의 가중치는 0.073로 과거와 비교하여 소폭 상승했지만, 단수시간의 가중치는 변함없이 0.053으로 산출되었다. 노후화율 지수는 사회부문 지수 중에서 가장 큰 변화가 나타났다. 2008년 0.119로 높은 수준으로 산출된 가중치는 2015년에 0.083으로 큰 폭으로 하락하였고, 이로 인해 사회부문 지수의 가중치 합도 0.298로 세 부문 중에서 가장 낮은 수치로 계산되었다. 또한, 2015년 지속가능성을 평가하는데 있어, 중요한 변수로써 해석할 수 있는 지수는 서비스보급률이 유일한 것으로 나타났다.

환경부문을 살펴보면, 수생태 건강성과 하천수질은 시기와 상관없이 지속가능성을 평가하는데 주요한 항목으로써 해석할 수 있지만, 2015년 가중치는 2008년과 비교하여 상당히 낮아진 것을 확인

할 수 있다. 오염물질과 누수율의 가중치는 2008년에 0.034-0.035로 매우 낮은 수준이었지만, 2015년에는 크게 상승하여 각각 0.079과 0.070으로 산출되었다. 여전히 지속가능성을 설명하는데 수생태 건강성과 하천수질만큼 주요한 변수로 선정하기에는 힘들지만, 이 지수의 가중치가 크게 상승한 이유로 환경부문의 중요도가 0.311에서 0.332으로 높아졌다.

분석결과를 종합해보면, 경제(0.359→0.369)와 환경부문(0.31→0.332) 지수의 역할이 확대된 반면, 사회부문(0.331→0.298) 지수의 비중은 작아진 것을 확인할 수 있다. 앞서 분석방법 소개에서 설명했던 것처럼, 주성분 분석은 변수 간의 상호관계(상관관계)를 기반으로 분석이 된다. 따라서, 경제와 환경부문의 가중치가 확대되고 사회부문이 축소된 이유는 경제와 환경부문 지수는 다른 지수와의 연관성이 과거(2008년)과 비교하여 높아진 반면, 사회부문 지수는 다른 부문의 지수와의 상관성이 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다.

2015년 현재상태의 지속가능성 분석 결과를 기준으로 보면, 가장 우선적으로 개선해야 할 부분은 경제부문으로, 물 인프라 및 서비스를 제공하기 위해서는 운영 재원과 안정적인 수입을 확보할 수 있도록 노력이 투입되어야 하는 것을 유추할 수 있다. 또한, 개별 지수의 가중치를 통해 자세히 살펴보면, 자본수입비율과 보조금비율뿐만 아니라 수생태건강성, 하천수질, 노후화율, 재정자립도를 향상하기 위한 방안도 모색할 필요가 있는 것으로 판단된다.

3.3 군집 분석 결과

군집분석은 복잡한 자료를 소수의 집단으로 구분하여, 자료의 특징을 파악하는데 유익한 분석기법이며, 본 연구에서는 이 분석방법을 활용하여 지자체를 특정 유형으로 분류하고, 각 유형마다 대체적으로 나타나는 특징을 분석하고자 하였다. 분석을 위해 앞서 도출한 지수의 가중치를 반영하여 지자체별 지속가능성 지수를 새로 산출한 자료를 활용하였다. 보통 여러 변수를 대상으로 군집분석을 하는 경우, 보통 요인분석 또는 주성분 분석 등을 통해 소수의 변수로 압축·요약한 이후 분석을 시행한다. 하지만, 본 분석에서는 이미 주성분 분석을 통해서 12개 지수의 가중치를 도출하였고 이 가중치를 적용하여 각 지자체의 12개 지속가능성 지수를 새로 산출하여 군집분석에 활용하였기 때문에 12개 지수를 소수의 변수로 압축하는 절차는 생략하고 진행하였다.

가중치 분석과 마찬가지로 2008년에는 전국 160개 지자체 중 결측치가 있는 30개 지자체를 분석에서 제외하였고, 2015년에는 전국 161개 지자체 중 결측치가 있는 19개 지자체를 제외하였다. 최적 군집 수를 결정하기 위해 지금까지 개발된 최적 군집 수를 결정하기 위해 개발된 CH index, Duda index, Cindex 등 30개 통계 지표들을 계산하여, 가장 우세하게 나타난 군집 수를 최적 군집 수로 결정하였다. 분석결과, 2008년과 2015년 모두 2개 군집

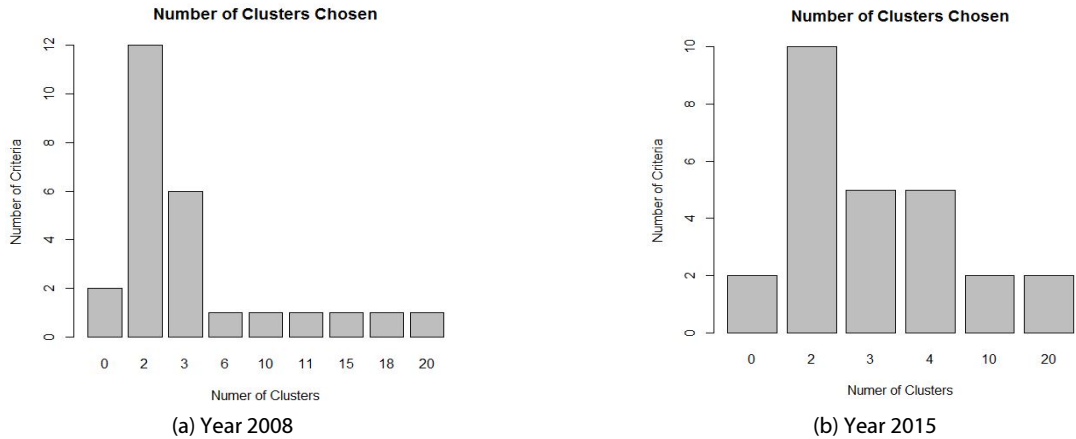


Fig. 1. Optimal Cluster Numbers

Table 9. Results of Cluster Analysis

Index	Year 2008		Year 2015	
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 1	Cluster 2
Financial independence	1.310	3.573	1.514	3.697
Service revenue ratio	3.535	8.177	3.307	7.949
Subsidy ratio	3.571	8.243	3.307	7.957
Pricing rate	1.986	2.660	1.180	3.204
Population coverage ratio	5.704	7.890	6.682	8.270
Complains	4.183	5.199	4.586	5.646
Water supply suspension	4.379	3.273	4.624	4.299
Deterioration rate	9.830	9.293	5.395	5.035
Stream/river ecosystem health	8.178	5.935	6.138	4.753
River water quality	9.406	6.461	7.162	5.993
Pollution treatment efficiency	2.741	2.944	7.355	7.501
Leakage rate	2.248	2.570	5.019	6.105
Total scores	57.072	66.217	56.700	70.410
Number of cities	81	49	90	52
Gwangyuk-si	0	8	1	6
Si	21	35	17	43
Gun	60	6	72	3
Ratio (%)	62.3%	37.7%	63.4%	36.6%

에서 가장 많은 통계지표가 최적 군집 수로 분석되었다(Fig. 1).

도출한 군집의 특징을 자세히 살펴보기 위하여, 군집 별로 평균 지수 점수를 산정하였고, 이를 비교·분석하여, Table 9와 Fig. 2로 정리하였다. 먼저 2008년 분석결과를 살펴보면, 두 집단의 특성이 명확히 구분되는 것을 확인할 수 있다. 군집 1의 경우, 수생태건강성, 하천수질, 노후화율의 점수가 다른 지수와 비교하여 상당히 높은 수준인 것으로 나타났다. 또한 군집 2와 비교하여 상대적으로 양호한 상태로 분석된 항목은 수생태 건강성과 하천수

질인 것을 통해 군집 1의 지자체는 대체적으로 수질 오염 상태가 양호하다는 특징을 발견할 수 있다. 하지만, 이외 다른 항목에서는 굉장히 낮은 수준으로 평가되어 지속적인 물 인프라 서비스를 제공할 가능성은 매우 낮은 것으로 판단된다. 특히, 물 인프라 서비스를 공급하기 위해 가장 중요한 요소로써 평가된 자본수입비율과 보조금비율이 낮은 수준으로 산출된 결과는, 물 인프라 운영을 위한 지자체의 자체적인 재원확보가 어려운 것으로 해석할 수 있다.

군집 2의 경우, 자본수입비율, 보조금비율, 서비스 보급률, 노후 화을 항목에서 다른 지수에 비해 높은 평가를 받은 지자체들로 구성되어 있다. 또한, 군집 1과 비교하여 자본수입비율, 보조금비율, 서비스 보급률 점수가 높게 계산된 반면, 수생태 건강성과 하천수질은 낮게 산출되었다. 이를 통해 군집 2는 물 인프라 운영 재원 상태와 서비스보급률은 양호하지만 수질 오염 상태는 다소 불량하다는 특징을 유추할 수 있다.

2015년 군집별 지수의 특성을 알아보면, 군집 1은 서비스보급률, 수생태 건강성, 하천수질, 오염물질처리율의 점수가 군집 내 다른 지수와 비교하여 상대적으로 양호하게 평가되었으며, 군집 2와 비교하여도 수생태 건강성과 하천수질의 지수 점수가 높게 산출되어 양호한 수질오염 상태가 대표적인 특징이라 할 수 있다. 하지만, 경제부문 지수는 매우 낮은 수준으로 산출되었다. 군집 내 지자체의 평균자본수입비율과 보조금비율 점수가 3.307로 계산되었으며, 특히 재정자립도와 요금현실화율은 각각 1.514과 1.180로 재원

확보의 어려움이 큰 것으로 보인다. 따라서, 군집 1로 분류되는 지자체들의 지속가능한 물 인프라 서비스를 확보하기 위해서 공통적으로 필요한 부분은 재원 확보와 같은 경제부문을 개선에 대한 대책을 모색하는 것이다.

군집 2의 경우, 자본수입비율, 보조금비율, 서비스 보급률, 오염 물질처리율의 점수가 군집 내 다른 지수와 비교하여 높은 점수로 계산되었다. 또한, 군집 1의 지수와 비교해보면, 자본수입비율, 보조금비율 서비스보급률은 월등하게 우수한 상태로 나타났고, 수생태 건강성과 하천수질은 군집 1에 비해 현저히 낮게 평가되는 특징이 나타났다. 군집 2(종합점수: 70.4)로 분류된 지자체에서는 군집 1(종합점수: 56.7) 지자체보다 전반적으로 지속가능성을 확보하는데 유리한 것으로 나타났지만, 재정자립도, 요금현실화율, 단수 시간, 노후화율, 수생태 건강성이 다른 지수에 비해 상당히 낮은 수준으로 평가된 것으로 보아, 이 항목들은 우선적으로 개선하기 위한 방안을 모색할 필요가 있다고 판단된다.

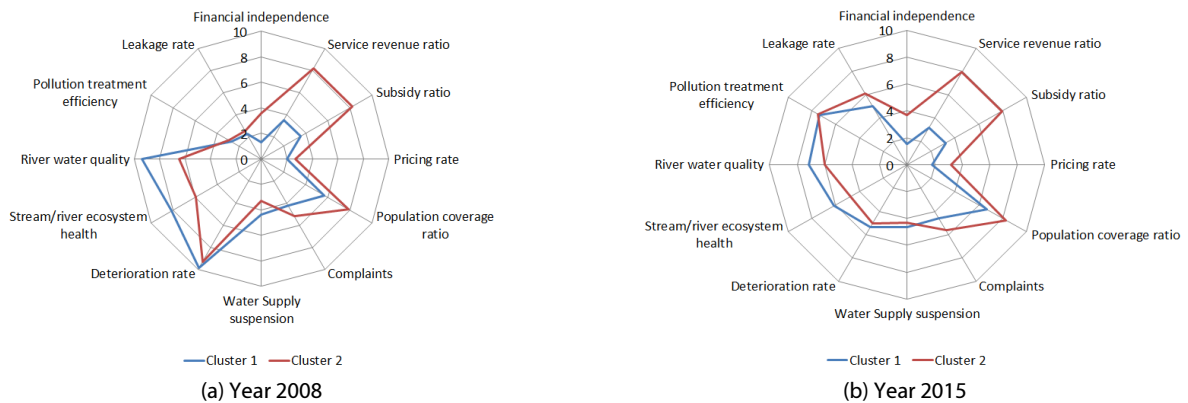


Fig. 2. Average Scores of Sustainability Indexes

Table 10. Population and Income by Individual Cluster

Criteria	Percentile range	Year 2008			Year 2015		
		Cluster 1	Cluster 2	Total	Cluster 1	Cluster 2	Total
Population	0~25	30	0	30	35	1	36
	25~50	30	3	33	33	2	35
	50~75	20	17	37	20	15	35
	75~100	1	29	30	2	34	36
	Total	81	49	130	90	52	142
Income (GRDP per capita)	0~25	20	8	28	22	12	34
	25~50	22	15	37	24	11	35
	50~75	26	8	34	27	10	37
	75~100	13	18	31	17	19	36
	Total	81	49	130	90	52	142

Note: GRDP data in 2014 was used as it of 2015 was not available.
Source: Statics Korea.

다음으로, 각 군집 유형에 포함되는 도시의 비율을 살펴보면 (Table 10), 시기에 따른 비율의 차이는 거의 나지 않은 것으로 나타났다. 군집 1의 경우, 전체 도시의 약 62.3~63.4%로 많은 도시들이 포함되어 있으며, 이 중 군 단위 도시의 비율이 74.1~80.0%로 대체로 규모가 작은 도시들이 집중적으로 포함되어 있다. 군집 2의 도시 비율은 36.6~37.7%으로 작게 나타났으며, 군집 1과는 다르게 광역·시 단위 도시의 비중이 87.8~94.2%로 규모가 큰 도시들이 집중적으로 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 군집별 인구와 소득의 특징을 나타낸 Table 10과도 연관하여 설명하는 것이 가능하다. 규모가 작은 도시들이 주로 포함되어 있는 군집 1의 경우, 인구의 상위 25%에 해당되는 도시의 비율은 1.2~2.2%에 불과하며, 소득의 상위 25%에 해당되는 도시의 비율은 16.0~18.9%로 나타났다. 반면, 규모가 큰 도시들이 주로 분포되어 있는 군집 2의 경우, 인구의 상위 25%에 해당되는 도시의 비율은 59.2~65.4%, 소득의 상위 25%의 도시 비율은 59.2~65.4%로 군집 1과 비교하여 인구와 소득 수준이 상당히 높게 산출되었다. 이는 앞서 살펴본 도출된 군집의 특성에도 상당히 일치함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 물 인프라의 지속가능한 공급 능력을 평가하기 위하여, Kang et al.(2016)이 제안한 대로 지속가능성 지수를 산출하였고, 이를 바탕으로 지수별 중요도와 국내 지자체에서 나타나는 지속가능성의 유형을 분석하였다.

지수의 가중치 분석 결과를 살펴보면, 시기 별로 도출된 수치의 차이는 다소 존재하지만, 경제부문의 재정자립도, 자본수입비율, 보조금비율, 사회부문의 서비스보급률, 노후화율, 환경부문의 수생태건강성, 하천수질 항목이 물 인프라 지속가능성을 종합적으로 평가하는데 주요한 변수로 분석되었고, 이는 지속가능성을 확대하기 위해 다른 항목과 비교하여 상대적으로 개선 또는 관리에 대한 노력이 집중될 필요가 있다는 것을 의미한다. 특히, 경제부문의 중요도는 2015년 0.369로 가장 높게 산출되었고, 2008년과 비교하여 가중치가 높아지고 있는 추세이기 때문에 지속가능성을 확대하기 위해서 물 인프라 사업 예산 확보 및 지자체 재정 상태를 개선하기 위한 방안을 마련하는 것이 시급하다는 점을 시사하고 있다.

군집분석은 전국 지자체에서 나타나는 지속가능성 상태의 유형을 파악하고, 각 유형별로 보완해야 할 점을 탐색하는데 목적이 있다. 군집분석은 가중치 결과를 반영한 지수를 활용하였으며, 시기에 따라 군집의 특성을 대표하는 지수에 약간 변화가 있지만 대체로 경제와 환경부문의 지수가 두 집단의 특징을 구분하고 있다. 경제부문에서 우수한 점수를 평가받은 집단(군집 2)에서는

군집 1과 비교하여 지속가능성 확보가능성(종합 점수: 70.4)이 높은 것으로 나타났지만, 수생태 건강성 및 하천수질 등 환경부문에서는 개선이 필요한 것으로 나타났다. 환경부문이 양호하게 나타난 집단(군집 1)에서는 지속가능성 확보 가능성(종합 점수: 56.7)이 군집 2와 비교하여 상당히 낮은 것으로 분석되었다. 특히, 경제부문 점수는 매우 낮게 평가된 것으로 보아, 물 인프라 사업 운영 및 재정 상태를 회복하기 위한 노력이 시급하다는 것을 시사하고 있다. 또한, 도출된 군집분석 결과를 토대로 지자체의 규모(도시 단위, 인구)와 소득 수준을 살펴보면, 군집 1에는 인구 규모가 작고 소득 수준이 낮은 군 단위 도시들이 집중적으로 포함되어 있는 반면, 군집 2는 주로 인구 규모가 크고 소득 수준이 높은 광역·시 도시들로 구성되어 있다.

지수의 가중치 분석과 군집 분석 결과는 시기(2008년, 2015년) 별로 세부적인 수치 차이가 존재하지만, 지자체의 물 인프라 지속가능성 상태에 대한 추세는 큰 변화가 없음을 확인할 수 있으며, 이를 지자체의 지속가능성 확보를 위한 문제점이 개선되기 보다는 오히려 고착화되었다는 점을 지적할 수 있다.

물 인프라의 지속가능성을 확보하기 위해서는 여러 부문에서 다각적으로 개선하기 위한 노력뿐만 아니라 정부와 지자체 차원의 공조 및 개선 대책방안이 마련되어야 하기 때문에 명료한 해결방안을 찾는 것은 매우 어려운 작업이다. 하지만, 본 연구는 지속가능성을 평가하기 위해 정량적이면서 과거 자료까지 수집할 수 있는 항목을 부문(경제, 사회, 환경) 별로 선정하였고, 지속가능성 상태를 가능한 객관적으로 평가·분석했다는 것에 의미가 있다고 할 수 있다. 또한, 본 연구에서 수행한 지수의 가중치와 군집 분석 결과를 통해 정책결정자들이 우선적으로 개선해야 할 부분을 결정하고, 현재 지자체들의 지속가능성 상태를 파악하는데 도움이 될 것으로 기대한다. 기 언급된 바와 같이 유럽 및 호주 등의 국가에서는 물 서비스 평가에 대한 법을 시행 중 또는 추진 중에 있다. 우리나라의 물 서비스 지속가능성 평가체계를 도입하기 위해서는 우선적으로 관련 법적 근거를 마련하여 물 서비스 평가 수행의 강제성을 확보하여야 한다. 또한 지속가능성 평가를 수행, 평가결과를 통한 지속가능성 확보를 위한 수단의 이행, 이행 결과를 점검하는 등의 체계가 정립되어야 할 것이다.

마지막으로 본 연구결과에서 분석 자료로써 활용한 지속가능성 지수의 한계점을 지적할 수 있다. Kang et al.(2016)은 물 인프라의 전반적인 평가를 위해 지속가능성 지수를 고안하였지만, 재정자립도, 수생태건강성, 하천수질을 제외하면 상하수도 평가를 하는 항목들로 구성되어 있기 때문에 전반적인 물 인프라의 지속가능성을 분석하는데 어려움이 있다. 따라서 전반적인 물 인프라를 평가하기 위한 평가 항목의 재설계 또는 상하수도 부문으로의 평가 대상 재설정 등 자료의 한계를 보완하기 위한 노력이 필요한 것으로

판단된다. 하지만, 본 연구에서는 지속가능성 평가체계의 개발 보다는 지속가능성 상태를 효과적으로 점검·파악하기 위해서 개발된 평가체계를 활용하는 방법에 대한 주제에 초점이 맞춰져 있기 때문에 앞서 언급한 분석 자료의 한계를 보완하는 과제는 추후 연구과제로 제안하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 한국환경정책·평가연구원의 2017년 일반사업 “물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가(IV)”결과로 작성되었습니다.

References

- Ahn, S. R., Kim, S. H. and Kim, S. J. (2014). “A study on hydrologic clustering for standard watersheds of Korea water resources unit map using multivariate statistical analysis.” *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 17, No. 1, pp. 91-106 (in Korean).
- Azadeh, A., Ghaderi, S. F. and Maghsoudi, A. (2008). “Location optimization of solar plants by an integrated hierarchical DEA PCA approach.” *Energy Policy*, Vol. 36, No. 10, pp. 3993-4004.
- Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer.
- Böhringer, C. and Jochem, P. E. (2007). “Measuring the Immeasurable: a survey of sustainability indices.” *Ecological Economics*, Vol. 63, No. 1, pp. 1-8.
- Brattebo, H., Allegre, H., Cabrera, E., Marques, R. C., Hein, A. and Cruz, C. O. (2013). A Master Framework for UWCS Sustainability, Available at: www.trust-i.net/readpublicfile.php?fl=40 (Accessed: September 12, 2017).
- Cobb, J. B. and Daly, H. (1989). *For the Common Good. Redirecting the Economy toward Community, the Environment and a Sustainable Future*, Beacon Press.
- Ebert, U. and Welsch, H. (2004). “Meaningful environmental indices: a social choice approach.” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 47, No. 2, pp. 270-283.
- Gómez-Limón, J. A. and Sanchez-Fernandez, G. (2010). “Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators.” *Ecological Economics*, Vol. 69, No. 5, pp. 1062-1075.
- Hanley, N. (2000). “Macroeconomic Measures of ‘Sustainability’.” *Journal of Economic Surveys*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-30.
- Jiang, Y. and Shen, J. (2013). “Weighting for what? A comparison of two weighting methods for measuring urban competitiveness.” *Habitat International*, Vol. 38, pp. 167-174.
- Jolliffe, I. T. (1986). *Principal Component Analysis*, Springer New York.
- Kang, H. S., Kim, H. J., Ryu, J. N., Lee, S. and Jung, H. S. (2016). *Sustainability Assessment of Water Infrastructure and Its Services (III)*, Korea Environment Institute (in Korean).
- Kang, H. S., Lee, B. K., Kim, H. J., Goo, Y. M., Kim, J. E., Lee, S. and Kim, Y. J. (2015). *Sustainability Assessment of Water Infrastructure and Its Services (II)*, Korea Environment Institute (in Korean).
- Kang, H. S., Lee, B. K., Yang, I. J., Park, M. Y. and Han, S. W. (2014). *Asset Management for Water Infrastructure in order to Enhance Water Environment Service in Urban water*, Korea Environment Institute (in Korean).
- Kim, J. Y. and Ahn, B. I. (2015). “Effect of consumers’ dietary lifestyle on the consumption pattern of processed foods.” *Korean Journal of Food Marketing Economics*, Vol. 32, No. 1, pp. 31-53 (in Korean).
- Kim, S. G., Choi, T. Y. and Koo, J. T. (2007). “The assessment of wastewater treatment and management using performance indicators and cluster analysis.” *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 21, No. 2, pp. 165-175 (in Korean).
- Lee, B. K., Kang, H. S., Kim, H. J., Yang, I. J., Moon, H. J., Kim, J. E. and Jung, A. Y. (2014). *Assessing the Sustainability of Water Environment Services and Water Infrastructures*, Korea Environment Institute (in Korean).
- Lee, Y. J., Park, M., Son, J., Park, J., Kim, G., Hong, C., Gu, D., Lee, J., Noh, C., Shing, K.-Y. and Yu, S.-J. (2017). “Spatial and seasonal water quality variations of han river tributaries.” *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 26, No. 6, pp. 18-430 (in Korean).
- Nguefack-Tsague, G., Klasen, S. and Zucchini, W. (2011). “On weighting the components of the human development index: a statistical justification.” *Journal of human development and capabilities*, Vol. 12, No. 2, pp. 183-202.
- Park, M. S. and Ahn, B. I. (2014). “Impacts of food consumption lifestyle on the expenditure for the processed food: using cluster analysis and matching method.” *Journal of Rural Development*, Vol. 37, No. 3, pp. 35-38 (in Korean).
- The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*, Available at: <https://www.oecd.org/std/42495745.pdf> (Accessed: October 17, 2017).
- UNESCO (2015), *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*, Available at: unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf (Accessed: September 2, 2017).
- Won, T. Y. and Jeong, S. W. (2004). *(Korean SPSS 12K) Statistics Survey and Analysis*, Hannarae (in Korean).