



Entropy-TOPSIS 기법을 활용한 군집별 상수도관망 위험도 관리순위 결정

Prioritization decision for hazard ranking of water distribution network by cluster using the Entropy-TOPSIS method

박해금·김기범·형진석·김태현·구자용*

Haekeum Park·Kibum Kim·Jinseok Hyung·Taehyeon Kim·Jayong Koo*

서울시립대학교 환경공학과

Environmental Engineering, University of Seoul

pp. 379-387

pp. 389-403

pp. 405-415

pp. 417-424

pp. 425-436

pp. 437-454

pp. 455-463

pp. 465-476

pp. 477-487

pp. 489-496

pp. 497-505

pp. 507-516

pp. 517-531

pp. 533-544

ABSTRACT

The water supply facilities of Korea have achieved a rapid growth, along with the other social infrastructures consisting a city, due to the phenomenon of urbanization according to economic development. Meanwhile, the level of water supply service demanded by consumer is also steadily getting higher in keeping with economic growth. However, as an adverse effect of rapid growth, the quantity of aged water supply pipes are increasing rapidly, Bursts caused by pipe aging brought about an enormous economic loss of about 6,161 billion won as of 2019. These problems are not only worsening water supply management, also increasing the regional gap in water supply services. The purpose of this study is to classify hazard evaluation indicators and to rank the water distribution network hazard by cluster using the TOPSIS method. In conclusion, in this study, the entropy-based multi-criteria decision-making methods was applied to rank the hazard management of the water distribution network, and the hazard management ranking for each cluster

Received 27 October 2021, revised 14 December 2021, accepted 15 December 2021.

*Corresponding author: Jayong Koo (E-mail: jykoo@uos.ac.kr)

- 박해금 (연구원) / Haekeum Park (Researcher)
서울특별시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea
- 김기범 (연구교수) / Kibum Kim (Research Professor)
서울특별시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea
- 형진석 (박사과정) / Jinseok Hyung (Ph.D. Student)
서울특별시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea
- 김태현 (박사과정) / Taehyeon Kim (Ph.D. Student)
서울특별시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea
- 구자용 (정교수) / Jayong Koo (Professor)
서울특별시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea

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.

according to the water supply conditions of the county-level municipalities was determined according to the evaluation indicators of water outage, water leakage, and pipe aging. As such, the hazard ranking method proposed in this study can consider various factors that can impede the tap water supply service in the water distribution network from a macroscopic point of view, and it can be reflected in evaluating the degree of hazard management of the water distribution network from a preventive point of view. Also, it can be utilized in the implementation of the maintenance plan and water distribution network management project considering the equity of water supply service and the stability of service supply.

Key words: Water distribution network, Hazard ranking, Multi-Criteria decision making, Entropy-TOPSIS

주제어: 상수도관망, 위험도 관리순위, 다기준 의사결정, 엔트로피-TOPSIS

1. 서 론

우리나라의 상수도시설은 1990년대 경제발전에 따른 도시화 현상에 따라 도시를 구성하는 사회기반시설물과 더불어 급격한 성장을 이루었으며, 경제성장에 따라 상수도 공급 서비스에 대한 소비자의 서비스 요구수준 또한 증가되고 있다. 그러나 급격한 성장의 반작용으로 상수도관망을 구성하는 주요 시설물인 상수관로의 노후화가 가속화되고 있으며, 상수관로의 노후화는 단수 사고로 이어져 단수 영향을 받은 수도계량기 수가 2015년 상수도통계상 405,371전에서 2019년 483,533전으로 증가되었으며, 관로 노후화로 인한 상수관로의 파손은 누수를 발생시켜 2019년 상수도통계 기준 연간 약 6,161억 원의 막대한 경제적 손실을 초래하였다.

또한, 2019년 상수도통계상 수도요금을 통해 확보한 수입을 운영 및 유지관리 비용으로의 재투자여력으로 분석한 결과, 특·광역시외의 경우 상수도관망 관리를 위한 재투자여력이 23.5%로 수도요금 대비 상수도관망시설의 운영, 유지관리비용의 충당이 가능하며, 23.5%의 여유자산이 확보됨으로써 사용가능한 예산의 폭이 넓어 상수도관망의 서비스 수준을 관리하기 위해 지속적으로 예산을 투입하여 개량 및 유지관리를 실시함에 따라 단수사고 및 누수건수가 점차 감소하고 있는 것으로 나타났다. 반면, 군단위 지자체의 경우 상수도관망 유지관리를 위한 재투자여력이 -29.7%로 수도요금만으로 상수도관망 운영, 유지관리비용의 충당이 불가능한 상황으로 지자체가 상수도관망의 유지관리를 위한 예산이 한정적이고, 한정된 예산을 비효율적으로 투자함에 따라 단수사고와 누수건수가 증가하고 있으며, 이는 결과적으로 상수도경영의 악화와 상수도 서비스의 지역간 격차를 증가시키는 원인이 되고 있다.

이러한 군단위 지자체의 재정적 여건에 따른 유지관리 한계에 의한 상수도 서비스의 지역간 격차를 해소하기 위해 국가주도의 국고보조금을 지원하는 지방상수도 현대화사업, 노후 상수관로정밀조사 지원사업, 스마트 관망관리 인프라 구축사업 등이 수행되고 있다. 군단위 지자체를 대상으로 국고보조금을 지원 사업추진시 지자체의 상수도 관리 여건과 서비스 수준의 격차를 가속화하는 관로 노후도, 누수, 단수 등을 고려하여 상수도관망의 위험도가 높은 군단위 지자체를 지원사업 우선 대상지역으로 설정을 고려하는 등 합리적으로 국고지원사업 대상지역을 설정하고, 그에 따라 단계적인 국고지원계획을 수립할 필요가 있다.

상수도관망의 합리적인 운영 및 유지관리를 위해 관망의 위험도 순위결정과 관련한 연구들은 다수 존재한다. Lee (2011)는 관로에 대한 물리적 노후도 평가뿐만 아니라 상수관로의 중요도에 따른 복선화 및 사고 관리 관리순위 등을 계획할 필요가 있다고 판단되어 상수도관의 파손확률, 파손복구시간, 상수도관의 수요량을 이용하여 운영 신뢰성을 평가하는 평가지표를 이용하여 상수도관망의 신뢰성 평가를 실시하여 개량순위를 산정하였다. Kwon (2018)는 소블록 상수도관망에서의 위험도를 판단하여 개량 관리순위 산정을 위해 관두께, 물 사용량, 급수전, 관로 사용연수, 수압, 사고이력지수를 개발하여 소블록의 상수도관망 위험도 분석에 따른 개량 관리순위를 산정하였다. Yusuf Kilinç et al. (2018)은 관망의 신뢰성, 취약성, 강건성을 관리하기 위해 물리적 평가지표로 관령, 관로직경, 관로재질, 관로연장을 고려하였고, 환경적 평가지표로 매설토양종류, 교통밀도, 도로길이, 도로표면환경을 고려하였으며, 운영적 평가지표로 단수횟수, 파손확률, 수압을 고려하여 평가지표를 개발하였으며, 개발한 평가지표를 이용하여 AHP 기법에 의해 상수도관망의 위험도에 따른 개량 관리순



위를 수행하였다. Hoese et al. (2021)는 상수도관망에서의 안정적인 물공급을 위해 상수도관망 절점의 수요량, 체류시간, 잔류염소농도를 취약성 평가지표로 Fuzzy AHP-TOPSIS 기법에 적용하여 상수도관망의 취약성 순위평가를 수행하였다.

선행연구에서는 하나의 지자체에서 소블록 단위 또는 상수관로의 위험도를 평가하기 위해 수압, 수질, 관로의 파손이력, 토양부식성 등과 같은 데이터를 활용하여 지자체 상수도관망 유지관리 및 개량계획 수립시 활용가능한 소블록 단위 또는 상수관로의 위험도 순위평가 기법을 제안하였다.

다만, 선행연구에서의 소블록 및 상수관로 단위의 위험도 평가지표를 활용한 순위평가 기법의 경우 국고지원사업과 같은 대규모 재정적 지원계획 수립시 군단위 지자체간의 위험도 관리순위 결정을 위한 지표로의 활용에 있어 데이터 취득의 한계가 존재하며, AHP기법에 의한 위험도 순위결정 방법은 의사결정자의 주관적 판단에 의존되며, 정량적으로 평가지표가 가진 수치에 의해 객관성이 검증된 가중치를 산정하지 못한다는 한계점이 존재한다 (Seong et al., 2016).

이에 따라 본 연구에서는 상수도관망에서 공급의 안정성을 저해하는 위험요인을 단수사고, 누수사고, 관로노후도로 구분하고, 데이터 취득의 용이성과 표준화된 데이터 활용을 위해 상수도통계를 이용하여 위험도 평가지표를 분류하였다. 또한, 평가지표가 가진 정량적 수치를 이용하여 가중치를 산정하는 객관성이 검증된 정보이론 기반의 Entropy 방법을 이용하여 위험도 평가지표의 가중치를 산정하고, 다양한 평가지표에 대해 정규화하여 유효성 높은 의사결정을 지원하는 다기준의사결정기법인 TOPSIS기법을 활용하여 군집별 상수도관망 위험도 관리순위를 결정하였다. 결정된 군집별 상수도관망 위험도 순위에 따라 향후 국가주도의 대규모 국고지원사업의 수립시 합리적인 의사결정의 지원 및 상수도시설의 유지관리 및 자산관리 계획 수립 시 활용할 수 있는 방안을 제안하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 계층적 군집분석을 통해 상수도 여건에 따른 군 분류를 수행하였다. 또한, 상수도관망 공급 안정성을 저해하는 위험요인을 단수, 누수, 관로의

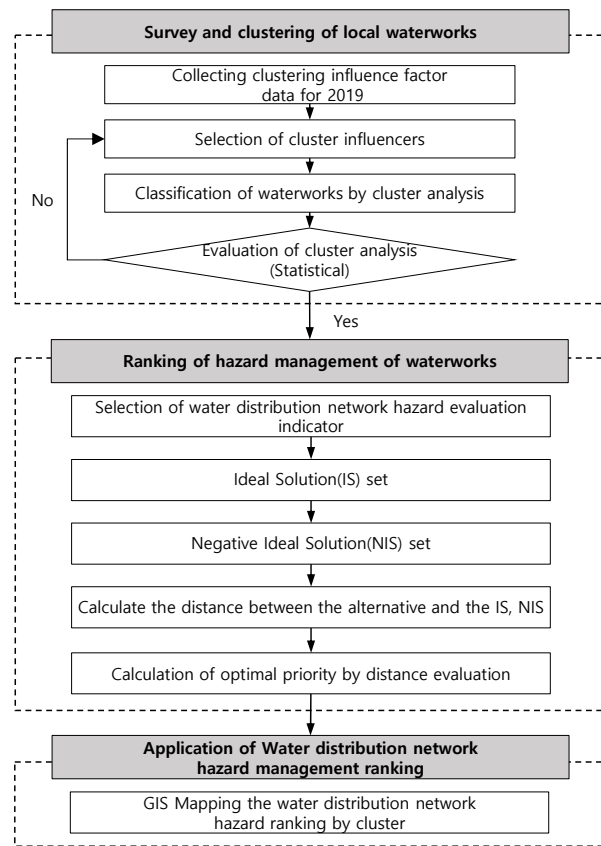


Fig. 1. Flow chart of this study.

노후도로 구분하였으며, 상수도통계를 이용하여 단수, 누수, 관로노후도 평가지표를 분류하여 TOPSIS기법에 따라 군집별 상수도관망 위험도 관리순위를 결정하였다.

본 연구의 연구흐름도는 Fig. 1과 같다.

2.1 수도사업자 조사 및 군 분류

본 연구에서는 상수도관망 위험도 관리순위 결정을 위해 규모가 크고 재정적 여건이 양호한 특·광역시 및 시단위 지자체를 제외하고, 상대적으로 규모와 재정적 여건이 한정적인 77개 군단위 지자체 수도사업자를 조사 대상으로 선정하였다. 군단위 지자체 수도사업자의 상수도 여건에 따른 군집화를 위해 2019년 상수도통계 자료와 상수도결산 자료 및 지방재정통계 자료를 사용하였다.

2.1.1 수도사업자 군 분류 영향요인 조사

본 연구에서는 상수도시설의 여건 및 규모 등에 따

pp. 379-387
pp. 389-403
pp. 405-415
pp. 417-424
pp. 425-436
pp. 437-454
pp. 455-463
pp. 465-476
pp. 477-487
pp. 489-496
pp. 497-505
pp. 507-516
pp. 517-531
pp. 533-544

른 군집별 위험도 관리순위를 결정하기 위해 지역의 규모가 유사한 지자체를 분류하고자 군집분석을 수행하였다. 이는 수도사업자의 지역규모와 여건의 상이성을 고려하지 않고 모든 연구대상 지자체를 동일한 기준을 적용하여 평가하는 것은 합리적이지 않기 때문이다. 군집을 분류하기 위해 Table 1에 나타낸 바와

같이 상수도 여건, 급수규모, 관로현황, 재정상태, 인력현황을 나타내는 영향인자를 분류하였다.

2.1.2 수도사업자 군 분류

본 연구에서는 상수도관망의 위험도 관리순위 결정을

Table 1. Influence factors for cluster analysis

Category	Factor	Division	Investigation method	
Water balance factor	Revenue water ratio(%)	X1	2019 waterworks statistics	
	Leakage ratio(%)	X2		
Service scale factor	Size of water supply area(km ²)	X3		
	Number of service population(people)	X4		
	Number of service connection(connection)	X5		
	Pipe length(km)	X6		
	Service population per pipe length(people/km)	X7		X4/X6
	Service connection per pipe length(connection/km)	X8		X4/X6
	Service population density(people/km ²)	X9		X4/X3
	Service connection density(connection/km ²)	X10		X5/X3
	Pipe density(km/km ²)	X11		X6/X3
Pipes condition factor	Rate of pipes passing service life (%)	X12	2019 waterworks statistics	
	Length of pipes passing service life (km)	X13		
	Rate of non corrosion pipe (%)	X14		
	Rate of new pipeline(%)	X15		
	Rate of pipeline replacement(%)	X16		
	Rate of pipeline rehabilitation(%)	X17		
	New pipeline(km)	X18		
	Replacement pipeline(km)	X19		
Finance factor	Rehabilitation pipeline(km)	X20	2019 waterworks statistics	
	Financial independence rate (%)	X21		
	Rates of recovering costs from water rate(%)	X22		
	Water price(won/m ³)	X23		
	Waterworks maintenance cost (1,000 won)	X24		
	Water rate tax revenue (1,000 won)	X25		
	Capital income(1,000 won)	X26		
	Expansion cost(1,000 won)	X27		
	Rehabilitation cost(1,000 won)	X28		
	Unit cost of waterworks maintenance(1,000won/km)	X29		X24/X6
	Unit cost of water rate tax revenue(1,000won/km)	X30		X25/X6
Personnel factor	Unit cost of capital revenue(1,000won/km)	X31	X26/X6	
	Unit cost of expansion cost(1,000won/km)	X32	X27/X6	
	Unit cost of rehabilitation cost(1,000won/km)	X33	X28/X6	
	Number of staff(people)	X34	2019 waterworks statistics	
	Number of staff for water distribution network(people)	X35		
	Rate of staff for water distribution network(%)	X36	X34/X35	
	Staff per pipe length(people/km)	X37	X34/X6	
	Staff for water distribution network per pipe length(people/km)	X38	X35/X6	



pp. 379-387
pp. 389-403
pp. 405-415
pp. 417-424
pp. 425-436
pp. 437-454
pp. 455-463
pp. 465-476
pp. 477-487
pp. 489-496
pp. 497-505
pp. 507-516
pp. 517-531
pp. 533-544

위해 상수도 여건과 규모 및 재정적 현황 등이 유사한 수도사업자를 분류하고자 군 분류 영향인자를 선정하고자 한다. 수도사업자의 군분류를 위해 상관분석을 통해 우수율에 영향을 주는 인자를 선정하였으며, 군 분류의 타당성을 검토하기 위해 기술통계분석을 수행하였다.

군집분석은 다수의 대상들을 유사한 특성을 가진 대상들끼리 그룹핑하는 다변량 통계기법으로 군집분석에 의해 두 개 이상의 군집이 형성되는 각각의 그룹을 군집(Cluster)라고 한다. 군집분석을 위해 가장 보편적으로 사용하는 방법은 데이터 간의 간격척도 또는 비율척도로 측정된 거리값에 의한 군집화 방법이다. 군집분석에서 각 개체 간의 거리는 군집간의 유사성을 나타내는데 같은 군집에 속한 객체 간 거리는 가까워야 하며, 상이한 군집에 있는 객체 간의 거리는 멀어야 한다 (Kim, 2017).

군집분석은 계층적군집분석과 비계층적군집분석인 K-평균군집분석으로 구분되며, 본 연구에서는 표본 대상의 자료코기가 한정적이고, 개별대상 간의 거리에 의해 군집의 개수를 줄여가는 방법인 계층적 군집분석을 이용하여 군집을 분류하였다.

계층적 군집분석은 보편적으로 활용되는 ward 방법을 선택하였으며, 등간(N)은 ward 방법에 주로 사용되는 제곱유클라디안 거리를 사용하였다. ward 방법은 최단거리를 기준으로 군집화를 진행하며 군집간의 거리를 계산할 때 두 군집에 속한 표본이 평균으로부터 떨어진 거리를 편차의 제곱으로 산정하고 그에 따라 군집을 구성하는 대상들을 합한 것이다. ward법에 의한 군집 간 거리계산은 다음 Equation 1과 같다.

$$d_{(AB)W} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (1)$$

여기서,

$d_{(AB)W}$: 군집 AB와 다른 군집 W간의 거리

X_i : 각 군집의 I번째 대상의 속성치

\bar{X} : 관측대상 군집을 구성하는 대상들의 평균치

n : W군집에 포함된 관측대상의 수

2.2 상수도관망 여건에 따른 위험도 관리순위 결정

수돗물의 안전하고 안정적인 공급을 목적으로 운영·관리되는 상수도관망의 노후화로 인한 수도사고

발생 위험이 증가하고 있으며, 이에 따라 수돗물 공급 기능의 안정성을 확보하기 위해 상수도분야에 있어 노후관로의 관리와 단수사고, 누수피해와 같은 상수도관망에서의 위험요인 관리의 필요성이 강조되고 있다 (MOE, 2017).

노후 상수도관은 관의 내용연수가 지나 내외부가 부식하여 관체의 파손사고와 빈번한 누수, 적수 등의 문제를 일으키는 상수도관과 내용연수가 지나지 않은 관중에서도 비내식성 관의 내부 스케일로 적수를 일으킬 가능성이 있는 상수도관을 일컫는다 (Seoul Metropolitan, 2000). 일반적으로 지하에 매설된 상수도관망은 시간이 경과함에 따라 부식, 적수, 누수사고 등 기능 열화가 발생되며 기능이 열화된 노후 상수도관망은 높은 파손 위험성을 가지고 있으며, 이에 따른 단수, 누수 발생의 위험성을 높여 소비자에게 공급하는 수돗물의 서비스 수준은 물론 경제적으로 미치는 영향이 막대하다 (Kim et al., 2019).

상수도관망에서 수돗물 공급의 안정성과 안전성을 저해하는 요인에 대한 유지관리 필요성이 제기되고 있음에 따라 본 연구에서는 상수도관망의 목적과 기능을 고려하여 공급의 안정성과 안전성을 저해하는 상수도관망 위험도에 대해 단수, 누수, 관로노후도로 정의하여 연구를 수행하였다.

2.3 상수도관망 여건에 따른 위험도 관리순위 결정

2.3.1 상수도관망 위험도 관리순위 평가지표

상수도관망 여건에 따른 군집별 상수도관망 위험도 관리순위 결정을 위해 선행연구와 데이터 취득의 용이성을 고려하여 단수, 누수, 관로노후도를 나타낼 수 있는 위험도 평가지표를 분류하였으며, 분류된 후보 지표는 Table 2에 나타내었다.

누수관리를 위한 위험도 평가지표는 연간 누수신고 건수(number of cases), 연간 누수탐지건수(number of cases), 연간 누수신고누수량(m^3), 연간 누수탐지누수량(m^3)를 후보 평가지표로 선정하였다. 이는 누수발생에 대해 적절한 대응 및 관리를 통해 관망의 공급의 안정성을 관리하여 상수도관망의 위험도를 관리함에 있어 주요 인자라고 판단하여 평가지표로 선정하였다.

또한, 관로노후도의 관리가 잘 이루어짐에 따라 관로의 지속가능성을 판단하여 관망의 신뢰성을 관리할 수 있다고 판단하여 송·배수관로 평균연령(yr), 21년

Table 2. Water distribution network hazard evaluation indicators

Category	Hazard evaluation indicators	Division
Water outage management	Water outage number of cases per year(number of cases/yr)	W1
	Water outage time per year (hr/yr)	W2
	Water outage impact number of service connection per year(connection/yr)	W3
	Water outage time impact pipe length per year (km/yr)	W4
Leakage management	Number of leakage reports per year (number of cases/yr)	L1
	Number of leakage detection per year (number of cases/yr)	L2
	Leakage by leakage reports per year (m ³ /yr)	L3
	Leakage by leakage detection per year (m ³ /yr)	L4
Pipe deterioration management	Average water pipe age(yr)	P1
	Rate of water pipe over 21 years(%)	P2
	Rate of aging corrosion water pipe (%)	P3
	Rate of aged water pipe (%)	P4

이상 송·배수관로비율(%), 송·배수관로 경년관비율(%), 노후 비내식성 송·배수관로비율(%)을 평가지표로 선정하였다. 비내식성 송·배수관로비율은 상수도 통계상에서 정의한 비내식성관로인 주철관을 비내식성관으로 간주하여 비내식성관로의 연장비율을 산출한 것이다.

따라서, 본 연구에서는 상수도관망의 위험도를 관리하기 위해 수도물 공급의 안정성을 저해시키는 단수사고, 누수사고와 안전성을 저하시키는 관로노후도를 나타내는 영향인자를 위험도 평가지표라 정의하였으며, 위험도 평가지표를 활용하여 상수도관망의 위험도 순위를 결정하고자 한다.

2.3.2 상수도관망 위험도 평가지표 가중치 산정

다기준의사결정기법 적용에 따른 위험도 관리순위 결정을 위해서는 위험도 평가지표별 가중치를 산정하여야 한다. 위험도 평가지표의 가중치는 위험도가 높은 평가기준의 중요도를 고려하기 위함이며, 위험도 평가지표의 중요도를 객관적으로 평가하기 위해 본 연구에서는 엔트로피 기법 기반의 가중치 산정을 적용하고자 한다. 엔트로피 기법은 확률이론 관점에서 공식화된 정보의 불확실성 척도로 제안된 개념으로 이산확률분포 구조의 척도개념은 다기준의사결정 문제에 주어진 평가값들 간의 차이를 객관적으로 평가하는데 유용하게 적용될 수 있다 (Kwon, 2018).

이에 본 연구에서는 엔트로피 기법을 이용한 수리적 계산에 의한 가중치를 도출하였으며 가중치 산정 절차는 다음과 같다.

① 위험도 평가지표의 행렬 정규화

벡터 정규화는 크기가 다양한 데이터의 벡터 크기를 ‘1’로 만들어 단위 벡터가 되도록 만드는 방법이며 각 성분을 벡터의 크기로 나누면 벡터 정규화가 된다. 벡터 u 를 정규화하기 위해 u 의 크기로 나누는 것이다. 만약 벡터가 $u = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 라면 각 성분을 벡터의 크기인

$$\|u\| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2} \text{로 나누어 } \hat{u} = \frac{u}{\|u\|} \text{로 정규화}$$

한다. 벡터 정규화는 다음과 같다.

$$\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

벡터정규화의 경우 정규화 이후 모든 평가기준의 단위를 무차원으로 전환하여 평가기준간의 비교를 용이하게 해주며, 벡터 정규화는 비선형 정규화 방법으로 주로 TOPSIS와 같은 다기준의사결정 방법에 주로 사용된다.

② 위험도 평가지표별 엔트로피 가중치 산정

엔트로피 기법은 확률이론 관점에서 공식화된 정보의 불확실성 척도를 고려하기 위해 제안된 개념으로 본 연구에서는 지표의 정보적 특성을 고려할 수 있는 정보 엔트로피의 개념을 기초로 엔트로피 가중치를 산정하고자 한다. 엔트로피 가중치는 벡터정규화한 의사결정행렬을 이용하여 정보속성의 크기분포를 기반으로 분산에 따라 엔트로피를 산정한 후 평가지표별 다양함의 정도를 산정하고, 그 값을 이용하여 엔트로피 가중치를 산정하는 절차로 이루어진다. 엔트로



피 가중치는 정보 속성의 다양성으로 결정되며, 지표 값의 응집도가 클수록 엔트로피 가중치는 크게 산정된다 (Lee et al., 2020).

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \log_2 p_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$(k = \frac{1}{\log_2 m}, 0 \leq E_j \leq 1)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$d_j = 1 - E_j$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (5)$$

2.3.3 TOPSIS 기법을 이용한 상수도관망 위험도 순위 결정

본 연구에서는 군집별 상수도관망의 위험도 관리순위를 결정하기 위해 거리척도 기반의 순위를 분석하는 다기준의사결정기법인 TOPSIS 기법을 활용하였다. TOPSIS 기법은 가용한 정보를 이용하여 최적의 대안과 최악의 대안을 동시에 제공하며, 최적의 대안을 신속히 식별하는데 매우 효과적이다 (Huang, 2008). TOPSIS 기법은 유한한 대안에서 요구되는 다기준의 사결정 문제를 해결하는데 효과적인 방법으로 연산과정이 객관적으로 명확하고, 다른 기법과의 복합적인 활용성이 매우 높아 위험관리, 에너지관리, 수자원관리, 기후변화, 지속가능성의 평가와 같은 다양한 분야에 활용되고 있다 (Pengyu, 2019).

거리척도 기반의 TOPSIS 기법은 의사결정 행렬의 가용한 정보를 가지고 만든 가상의 이상적인 해(Ideal Solution, IS)와 가장 반이상적인 해(Negative Ideal Solution, NIS)를 설정하여 IS와 NIS 간의 거리평가를 기반으로 한 관리순위를 결정하는 기법이다. 앞서 엔트로피 가중치 산정을 위해 정규화한 벡터 정규화를 수행한 행렬에 각 평가기준별 가중치를 고려하여 관리순위를 결정한다. TOPSIS 산정 절차는 다음과 같다.

① 가중 정규화 행렬 구조화

$$v_{ij} = x_{ij} \times w_i \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

② IS와 NIS 산정

$$v_j^+ = \{(\max_j v_{ij} \text{ if } i \in I^+, \min_j v_{ij} \text{ if } i \in I^-)\} \quad (7)$$

$$v_j^- = \{(\min_j v_{ij} \text{ if } i \in I^+, \max_j v_{ij} \text{ if } i \in I^-)\}$$

③ 각 대안에 대한 IS, NIS 간의 거리 측정

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_j (v_j^+ - v_{ij})^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_j (v_j^- - v_{ij})^2} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

④ 근접도 거리 계수(Closeness Coefficient, CC) 산정

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (9)$$

3. 연구 결과

3.1 연구대상지역의 군집화 결과

3.1.1 연구대상지역의 군집화를 위한 영향인자 선정

연구대상지역의 군집화는 군단위 수도사업자의 지역 간의 상수도 여건의 상이성을 고려한 상수도관망 위험도 관리순위 결정을 위해 선행적으로 수행되어야 한다.

군집화를 위한 분류 기준은 상수도 여건, 급수규모, 관로현황, 재정상태, 인력현황으로 구분하였으며, 본 연구에서는 상수도 여건인 우수율과의 상관성, 유의확률, 기술통계를 검토하여, 급수규모, 관로현황, 재정상태, 인력현황을 대표하는 한가지 인자를 선정하여 군집분석을 수행하였다. 군집 분류시 모든 인자를 활용할 경우 상관성 및 유의확률은 높으나 기술통계적 오류가 발생되어 군집화된 집단의 기술통계 해석에 있어 논리적 오류가 발생할 수 있기 때문이다.

상관분석 결과, 다음 Table 3과 같이 상수도 여건을 나타내는 우수율과 상관성이 나타나는 인자는 모두 18개로 나타났으나 급수규모, 관로현황, 재정상태, 인력현황에서 가장 높은 상관성과 유의성 및 기술통계를 검토하여 논리적으로 타당한 해석이 가능한 인자를 선정한 결과, 급수규모를 나타내는 영향인자 중 x4(급수인구)가 0.435의 유의한 양의 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 관로현황을 나타내는 영향인자 중 x14(비내식성관로비율)가 -0.303의 유의한 음의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 재정상태를 나타내는 영향인자 중 x25(수도요금 세입)이 0.451의 유의한

pp. 379-387

pp. 389-403

pp. 405-415

pp. 417-424

pp. 425-436

pp. 437-454

pp. 455-463

pp. 465-476

pp. 477-487

pp. 489-496

pp. 497-505

pp. 507-516

pp. 517-531

pp. 533-544

Table 3. Result of correlation analysis about Influence factors for cluster analysis

Category	Division	Correlation coeff.	$\gamma_{0.05}$	Judgement	Category	Division	Correlation coeff.	$\gamma_{0.05}$	Judgement
Water balance factor	X1	-	-	○	Finance factor	X21	0.367	**	
	X2	-0.899	**			X22	0.149		
	X3	-0.052				X23	0.067		
Service scale factor	X4	0.435	**	○		X24	0.349	**	
	X5	0.261	*			X25	0.451	**	○
	X6	0.175				X26	0.228	**	
	X7	0.315	**			X27	-0.008		
	X8	0.039				X28	-0.187		
	X9	0.432	**			X29	0.272		
	X10	0.356	**			X30	0.401	**	
	X11	0.301	**			X31	0.114		
	Pipes condition factor	X12	-0.158				X32	-0.070	
X13		-0.067				X33	-0.245	*	
X14		-0.303	**	○		X34	-0.322	**	
X15		-0.140				X35	-0.323	**	
X16		-0.014				X36	-0.128		
X17		-0.081				X37	-0.353	**	○
X18		-0.030				X38	-0.330	**	
X19		-0.007							
X20		0.037							

양의 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 인력현황을 나타내는 영향인자 중 x37(관로연장당 인력)이 -0.353의 유의한 음의 상관성이 있는 것으로 나타났다.

군집화를 위해 선정된 영향인자의 선정 적정성과 연구대상지역의 군집화가 적절히 이루어졌는지에 대한 타당성을 검토하기 위해 후술할 군집화 결과로 기술통계분석을 수행하였다.

3.1.2 계층적 군집분석에 따른 연구대상지역의 군집화 결과

상관분석 결과로 선정된 군단위 수도사업자의 상수도 여건, 급수규모, 관로현황, 재정상태, 인력현황을 나타내는 영향인자를 활용하여, 계층적 군집분석을 수행하였으며, 분류된 군집은 다음 Fig. 2와 같다.

본 연구에서는 상수도 여건을 나타내는 유수율, 급수규모를 나타내는 급수인구, 관로현황을 나타내는 비내식성관로비율, 재정현황을 나타내는 수도요금세입, 인력현황을 나타내는 관로연장당 인력에 따라 3개의 군집을 분류하였으며, 분류된 3개의 군집에 대해 기술통계분석을 수행하였다. 군집별 기술통계분석 결과는 다음 Table 4와 같다.

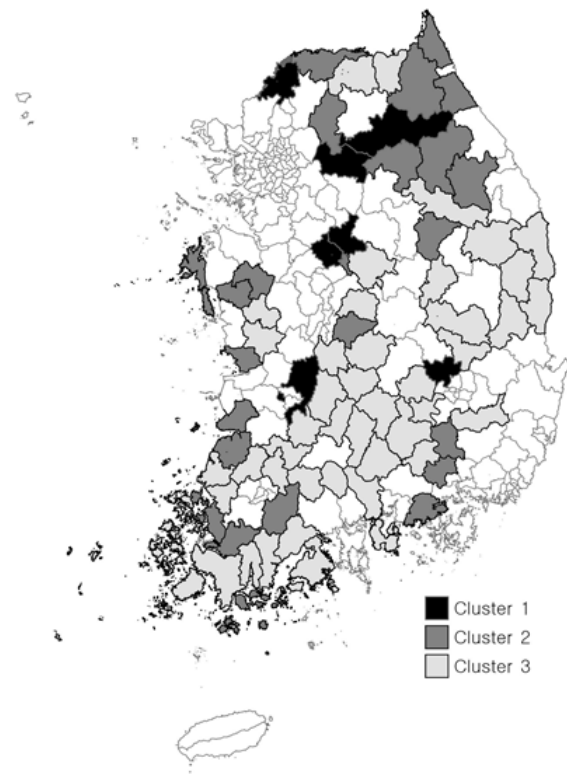


Fig. 2. Result of cluster analysis.



Table 4. Result of the descriptive statistics of cluster analysis

Division		Cluster			
		1	2	3	
Number of sample		7	24	46	
X1	Revenue water ratio(%)	Avg.	75.84	69.95	63.07
		Std.	10.65	8.57	9.64
X4	Number of service population(people)	Avg.	79,258	48,660	30,484
		Std.	22,474	17,329	11,906
X14	Rate of non corrosion pipe(%)	Avg.	6.27	7.26	7.57
		Std.	5.86	8.49	8.52
X25	Water rate tax revenue(1,000 won)	Avg.	11,890,588	6,272,115	2,410,558
		Std.	2,571,524	1,125,945	1,022,046
X37	Staff per pipe length(people/km)	Avg.	0.042	0.036	0.043
		Std.	0.021	0.024	0.040

1군집의 경우 상수도 여건을 나타내는 평균 유수율이 75.84%로 전체 연구대상지역 평균 유수율인 66.38% 이상인 지자체들이 군집화를 이루었으며, 2군집과 3군집의 평균 유수율보다 높은 것으로 나타났다. 이에 1군집이 상대적으로 2군집과 3군집에 비해 상수도관망의 운영관리가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.

급수규모를 나타내는 급수인구는 1군집이 79,258명으로 연구대상지역 평균 급수인구 40,583명보다 높은 급수규모를 갖는 지자체가 군집을 형성한 것으로 나타났다. 2군집 48,660명과 3군집 30,484명에 비해 상대적으로 큰 급수규모를 가지고 있는 지자체가 군집화된 것으로 판단된다.

또한, 관로현황을 나타내는 비내식성관로비율은 1군집이 6.27%로 연구대상지역 평균 비내식성관로비율인 7.28% 보다 낮은 비내식성관로비율을 갖는 지자체가 군집을 형성한 것으로 나타났으며, 2군집 7.26%, 3군집 7.57%으로 상대적으로 상수도 여건 및 급수인구 규모가 큰 1군집이 비내식성 관로 비율이 낮기 때문에 상대적으로 유수율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

재정현황을 나타내는 수도요금세입의 경우 유수율과 급수인구가 높은 1군집이 11,890,588천 원으로 가장 높은 것으로 나타났으며, 유수율과 급수인구가 높을수록 수도요금세입이 높은 것으로 분석되었다. 인력현황을 나타내는 관로연장당 인력은 1군집 0.042명/km, 2군집 0.036명/km, 3군집 0.043명/km로 전체 연구대상지역의 평균 관로연장당 인력 0.041명/km와 유사한 것으로 나타났다. 다만, 관로연장당 인력의 편차가 1군집이 0.021명/km, 2군집 0.024명/km, 3군집 0.040명/km으

로 1군집과 2군집에 비해 3군집이 상대적으로 크게 나타났으며, 관로연장당 인력의 투입이 상대적으로 균일하지 않아 상수도관망의 유지관리에 있어 상수도 여건이 낮으며, 급수규모가 작고, 재정적 여건이 상대적으로 낮은 군단위 수도사업자로 구성되어졌음을 알 수 있다.

최종적으로 군집분석 결과 1군집은 2군집과 3군집에 비해 상대적으로 상수도 여건이 양호하고, 급수규모가 크며, 재정적 여건이 양호하여 그에 따른 상수도관망의 관리가 비교적 잘 수행되고 있는 군단위 수도사업자로 군집이 형성되었음을 알 수 있었다. 2군집의 경우 1군집에 비해 상수도 여건, 급수규모, 재정적 여건이 낮으나 3군집에 비해 상대적으로 높은 군단위 수도사업자로 군집이 형성되었으며, 3군집의 경우 1군집, 2군집에 비해 상수도 여건이 낮고 급수규모가 작으며, 재정적 여건이 낮으며, 관로연장당 관리인력의 편차가 큰 군단위 수도사업자로 군집이 형성된 것으로 나타났다.

3.2 상수도 여건에 따른 상수도관망 위험도 관리순위 결정 결과

3.2.1 위험도 관리순위 결정을 위한 위험도 평가지표 선정 결과

본 연구에서는 77개 군단위 수도사업자의 상수도관망 위험도 평가를 위해 앞서 위험도로 구분한 단수, 누수, 관로노후도를 평가하는 위험도 평가지표를 분류하였다. 분류된 지표들 간의 상관분석 결과를 다음 Table 5에 나타내었으며, 상관분석을 통해 각 구분에서

pp. 379-387
pp. 389-403
pp. 405-415
pp. 417-424
pp. 425-436
pp. 437-454
pp. 455-463
pp. 465-476
pp. 477-487
pp. 489-496
pp. 497-505
pp. 507-516
pp. 517-531
pp. 533-544

Table 5. Result of the correlation analysis of water distribution network hazard assessment indicators

Division		Correlation coeff.			
		W1	W2	W3	W4
Water suspension management	W1	1	0.638**	0.420**	0.169
	W2	0.638**	1	0.293**	0.231*
	W3	0.420**	0.293**	1	0.533**
	W4	0.169	0.231*	0.533**	1
Leakage management	L1	1	0.170	0.091	-0.011
	L2	0.170	1	0.006	0.256*
	L3	0.091	0.006	1	0.327**
	L4	-0.011	0.256*	0.327**	1
Pipe deterioration management	P1	1	0.491**	0.41**	0.370**
	P2	0.491**	1	0.434**	0.666**
	P3	0.441*	0.434**	1	0.222
	P4	0.370**	0.666**	0.222	1

** The correlation coefficient is significant at 0.01 level (both sides).

후보지표들 간의 상관성이 유의하게 양호한 지표를 단수관리, 누수관리, 관로노후도 관리의 위험도를 평가할 수 있는 지표로 선정하였다.

단수관리 위험도 평가지표는 단수관리 후보지표들과 유의한 양의 상관성을 나타내는 W3(연간 단수영향 급수전수)를 단수관리 위험도 평가지표로 선정하였으며, 누수관리 위험도 평가지표는 누수관리 후보지표들과 유의한 양의 상관성을 나타내는 L4(연간 누수탐지에 의한 누수량)을 누수관리 위험도 평가지표로 선정하였다. 또한, 관로노후도 위험도 평가지표는 관로노후도 후보지표들과 유의한 상관성을 나타내는 P2(21년 이상 송·배수관로 비율)을 관로노후도 위험도 평가지표로 선정하였다.

3.2.2 위험도 평가지표의 가중치 산정 결과

TOPSIS 기법을 활용하여 상수도관망의 위험도 평가지표에 의한 군집별 위험도 관리순위를 결정하기 위해서는 위험도 평가지표의 가중치를 산정하여야 한다. 이에 본 연구에서는 엔트로피 기법을 이용하여 수리적 계산에 의해 단수관리의 평가지표로 선정된 W3(연간 단수영향 급수전수), 누수관리의 평가지표로 선정된 L4(연간 누수탐지에 의한 누수량), 관로노후도 관리의 평가지표로 선정된 P2(21년 이상 송·배수관로 비율)에 대하여 각 군집별 가중치를 산정하여 다음 Table 6에 나타내었다.

Table 6에 나타낸 E_j 는 군집별로 벡터정규화된 평

Table 6. The result of Hazard evaluation indicators weight

Division		Water suspension impact number of service connection per year (number/yr) (W3)	Leakage by leakage detection per year (m ³ /yr) (L4)	Rate of water pipe over 21 years (%) (P2)
Cluster 1	E_j	0.7187	0.2107	0.7992
	d_j	0.2813	0.7893	0.2008
	w_j	0.2212	0.6208	0.1580
Cluster 2	E_j	0.7791	0.3906	0.9417
	d_j	0.2209	0.6094	0.0583
	w_j	0.2486	0.6859	0.0656
Cluster 3	E_j	0.7897	0.4854	0.9226
	d_j	0.2103	0.5146	0.0774
	w_j	0.2621	0.6414	0.0964



가지표 값을 계산한 엔트로피 값이며, d_j 는 평가지표의 다양함의 정도(Degree of Diversification)이다. 다양함의 정도가 큰 평가지표는 가중치가 크게 산정된다. w_j 는 평가지표의 엔트로피 값과 다양함의 정도 값을 이용하여 산정된 가중치를 나타낸다. W3(연간 단수영향 급수전수)의 가중치는 1군집이 0.2212, 2군집이 0.2486, 3군집이 0.2621로 나타났다. L4(연간 누수탐지에 의한 누수량)의 가중치는 1군집이 0.6208, 2군집이 0.6859, 3군집이 0.6414로 산정되었다. 또한, P2(21년 이상 송·배수관로 비율)의 가중치는 1군집이 0.2621, 2군집이 0.6414, 3군집이 0.0964로 산정되었다. W3(연간 단수영향 급수전수)를 제외하고 L4(연간 누수탐지에 의한 누수량)의 경우 2군집이 가중치가 가장 크게 나타났으며, P2(송·배수관로 21년이상 관로비율)의 가중치는 가장 작게 나타났는데, 이는 해당 지표들의 속성값의 분산의 편차에 따라 데이터의 응집도에 차이가 발생했기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.3 TOPSIS 기법을 이용한 군집별 상수도관망 위험도 관리순위 결정

본 연구에서는 군집별 상수도관망 위험도 관리를 위한 관리순위를 결정하기 위해 위험도 평가지표에 따라

거리척도를 가지고 관리순위를 결정하는 TOPSIS 기법을 이용하였다. TOPSIS 기법에 따른 위험도 순위를 결정하기 위해 정규화된 속성값에 산정된 가중치를 곱해 가중 정규화 행렬을 구성하며, ideal solution과 negative ideal solution의 거리를 산정하여 city block distance 기반의 근접도 거리계수(Closeness Coefficient, CC)를 도출하였다.

도출된 근접도 거리계수 값에 따라 상수도관망의 위험도 순위가 결정된다. 본 연구에서는 negative ideal solution 값과 평가지표간의 거리를 분자로 설정하여 근접도 거리계수 값을 산정하였으며, 근접도 거리계수의 값이 클수록 상수도관망의 위험도 관리 수준이 양호한 것을 의미한다.

1) 1군집의 상수도관망 위험도 관리순위 결정

1군집의 상수도관망 위험도 관리순위를 결정하기 위해 TOPSIS 기법을 이용하여 1군집의 negative ideal solution과 대안과의 거리를 분자로 설정하여 Table 7 과 같이 근접도 계수를 산정하였다.

1군집의 근접도 거리계수 최대값 0.9327, 최솟값은 0.1976으로 도출되었다. 1군집의 상수도관망 중 근접도 거리계수 값이 최소로 도출된 L3 수도사업자의 경우 1군집에서 상수도관망 위험도 관리가 적절히 수행되고 있는 L4 수도사업자의 근접도 거리계수 0.9327과

Table 7. Result of water distribution network hazard ranking by TOPSIS(Cluster 1)

Cluster 1			Water distribution network hazard ranking by TOPSIS(Cluster1)
Division	CC	Rank	
Local 4	0.9327	1	
Local 6	0.9117	2	
Local 7	0.8762	3	
Local 1	0.8552	4	
Local 2	0.8364	5	
Local 5	0.7598	6	
Local 3	0.1976	7	

pp. 379-387
pp. 389-403
pp. 405-415
pp. 417-424
pp. 425-436
pp. 437-454
pp. 455-463
pp. 465-476
pp. 477-487
pp. 489-496
pp. 497-505
pp. 507-516
pp. 517-531
pp. 533-544

비교하여 0.7351의 차이를 나타내었으며, 1군집의 평균 근접도 거리계수 값인 0.7671에 비해 0.5695 낮은 값을 갖는 것으로 산정되었다.

L3 수도사업자의 단수 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.0753, 누수 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.6143, 관로노후도 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.0135로 상수도관망의 위험도 관리순위를 평가하는 근접도 거리계수를 산정하는데 이용하는 위험도 평가지표의 가중정규화 값이 크게 산정되었는데 이는 가중치 비중이 높은 단수관리 위험도 평가지표와 누수관리 위험도 평가지표의 가중정규화 값이 높게 산정되어 종합적인 상수도관망의 위험도 관리순위가 가장 낮게 도출된 것으로 판단된다.

2) 2군집의 상수도관망 위험도 관리순위 결정

2군집의 상수도관망 위험도 관리순위를 결정하기 위해 2군집의 negative ideal solution과 대안과의 거리를 분자로 설정하여 Table 8과 같이 근접도 계수를 산

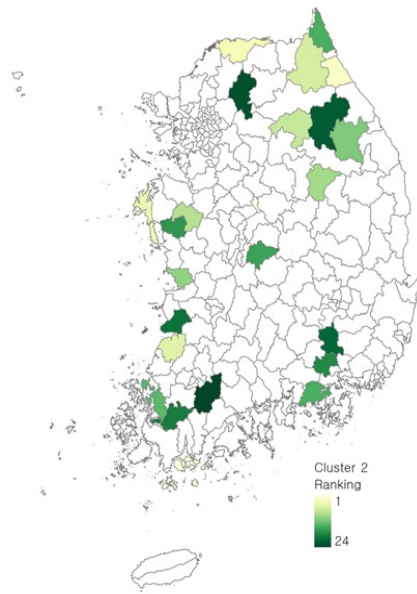
정하였다. 2군집의 근접도 거리계수 최대값 0.9919, 최소값은 0.2191로 도출되었다.

2군집의 상수도관망 중 근접도 거리계수 값이 최소로 도출된 L25 수도사업자의 경우 2군집에서 상수도관망 위험도 관리가 적절히 수행되고 있는 L22 수도사업자의 근접도 거리계수 0.9919와 비교하여 0.7728의 차이를 나타내었으며, 2군집의 평균 근접도 거리계수 값인 0.8741에 비해 0.6551 낮은 값을 갖는 것으로 산정되었다.

L25 수도사업자의 단수 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.0217, 누수 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.4934, 관로노후도 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.0035로 상수도관망의 위험도 관리순위를 평가하는 근접도 거리계수를 산정하는데 이용하는 위험도 평가지표의 가중정규화 값이 크게 산정되었는데 이는 가중치 비중이 높은 누수관리 위험도 평가지표의 가중정규화 값이 2군집 내에서 매우 높게 산정되어 종합적인 상수도관망의 위험도 관리순위가 가장 낮게 도출된 것으로 판단된다.

Table 8. Result of water distribution network hazard ranking by TOPSIS(Cluster 2)

Cluster 2			Water distribution network hazard ranking by TOPSIS(Cluster2)
Division	CC	Rank	
Local 22	0.9919	1	
Local 17	0.9861	2	
Local 9	0.9843	3	
Local 28	0.9781	4	
Local 13	0.9776	5	
Local 15	0.9714	6	
Local 10	0.9691	7	
Local 23	0.9654	8	
Local 21	0.9633	9	
Local 19	0.9579	10	
Local 12	0.9505	11	
Local 27	0.9482	12	
Local 14	0.9399	13	
Local 14	0.9399	13	
Local 11	0.9337	15	
Local 26	0.9294	16	
Local 24	0.9205	17	
Local 18	0.8991	18	
Local 30	0.8588	19	
Local 20	0.8490	20	
Local 29	0.8367	21	
Local 16	0.7564	22	
Local 8	0.2532	23	
Local 25	0.2191	24	



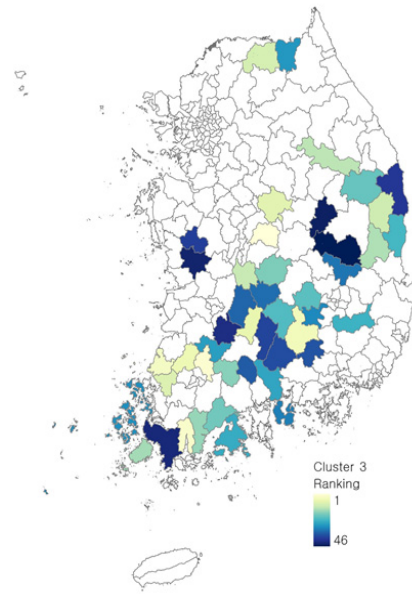


3) 3군집의 상수도관망 위험도 관리순위 결정
 3군집의 상수도관망 위험도 관리순위를 결정하기 위해 3군집의 negative ideal solution과 대안과의 거리를 분자로 설정하여 Table 9와 같이 근접도 계수를 산정하였다.

3군집의 근접도 거리계수 최대값 0.9979, 최소값은 0.1963으로 도출되었다. 3군집의 상수도관망 중 근접도 거리계수 값이 최소로 도출된 L60 수도사업자의 경우 3군집에서 상수도관망 위험도 관리가 적절히 수

Table 9. Result of water distribution network hazard ranking by TOPSIS(Cluster 3)

Cluster 3			Water distribution network hazard ranking by TOPSIS(Cluster3)
Division	CC	Rank	
Local 35	0.9979	1	
Local 37	0.9927	2	
Local 43	0.9923	3	
Local 54	0.9893	4	
Local 56	0.9864	5	
Local 77	0.9844	6	
Local 55	0.9839	7	
Local 46	0.9830	8	
Local 71	0.9823	9	
Local 32	0.9812	10	
Local 66	0.9802	11	
Local 62	0.9799	12	
Local 63	0.9784	13	
Local 58	0.9750	14	
Local 36	0.9749	15	
Local 38	0.9744	16	
Local 40	0.9725	17	
Local 49	0.9723	18	
Local 57	0.9689	19	
Local 50	0.9687	20	
Local 51	0.9682	21	
Local 47	0.9673	22	
Local 33	0.9620	23	
Local 74	0.9616	24	
Local 41	0.9612	25	
Local 76	0.9606	26	
Local 75	0.9589	27	
Local 34	0.9530	28	
Local 52	0.9487	29	
Local 65	0.9486	30	
Local 70	0.9476	31	
Local 42	0.9467	32	
Local 73	0.9410	33	
Local 72	0.9361	34	
Local 45	0.9341	35	
Local 64	0.9275	36	
Local 61	0.9202	37	
Local 68	0.9089	38	
Local 48	0.9046	39	
Local 44	0.8950	40	
Local 53	0.8920	41	
Local 69	0.8583	42	
Local 59	0.8212	43	
Local 39	0.7871	44	
Local 67	0.6750	45	
Local 60	0.1963	46	



pp. 379-387

pp. 389-403

pp. 405-415

pp. 417-424

pp. 425-436

pp. 437-454

pp. 455-463

pp. 465-476

pp. 477-487

pp. 489-496

pp. 497-505

pp. 507-516

pp. 517-531

pp. 533-544

행되고 있는 L35 수도사업자의 근접도 거리계수 0.9919와 비교하여 0.8016의 차이를 나타내었으며, 3군집의 평균 근접도 거리계수 값인 0.9283에 비해 07320 낮은 값을 갖는 것으로 산정되었다.

L60 지자체의 단수 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.0069, 누수 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.600, 관로노후도 위험도 평가지표의 가중정규화 값은 0.0007로 상수도관망의 위험도 관리순위를 평가하는 근접도 거리계수를 산정하는데 이용하는 위험도 평가지표의 가중정규화 값이 크게 산정되었다. 이는 1군집과 2군집과 같이 가중치 비중이 높은 위험도의 평가지표 가중정규화 값이 3군집 내에서 높게 산정되어 종합적인 상수도관망의 위험도 관리순위가 가장 낮게 도출된 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 상수도 관리 여건이 한정적인 군단위 지자체를 대상으로 상수도 여건에 따라 군집분류를 수행하고, 상수도관망에서 공급의 안정성을 저해하는 위험요인을 단수사고, 누수사고, 관로노후도를 나타내는 위험도 평가지표의 가중치에 따라 누수탐지에 의한 누수량, 연간 단수영향 급수전수, 21년 이상 관로비율에 따라 가중정규화 행렬을 산정하여 다기준 의사결정기법인 TOPSIS기법을 활용하여 상수도관망 위험도 순위를 결정하였다.

본 연구에서 위험도 순위 결정에 앞서 상수도 운영 관리 여건이 유사한 군단위 지자체간의 군집분석 수행 결과, 1군집은 2군집과 3군집에 비해 상대적으로 상수도 여건인 유수율이 양호하고, 급수규모인 급수 인구가 많으며, 재정적 여건인 수도요금세입이 양호하여 그에 따른 상수도관망의 관리가 비교적 잘 수행되고 있는 군단위 수도사업자로 구성되어졌다. 2군집의 경우 1군집에 비해 상수도 여건, 급수규모, 재정적 여건이 낮으나 3군집에 비해 상대적으로 높은 군단위 수도사업자로 구성되었으며, 3군집의 경우 1군집, 2군집에 비해 상수도 여건, 급수규모, 재정적 여건이 낮으며, 관로연장당 관리인력의 편차가 큰 군단위 수도사업자로 구성된 것으로 나타났다. 이에 따라 상수도 여건, 급수규모, 관로현황, 재정상태, 인력현황에 따라 논리적으로 타당하게 군집이 분류된 것으로 판단된다.

또한, 군집별 위험도 관리순위 산정 결과, 군단위 지자체 군집별 상수도관망 위험도 관리순위는 각 군집 내에서 순위가 낮을수록 위험도 관리가 적절히 수행되고 있지 않은 것으로 각 군집 내 위험도 순위가 낮은 군단위 지자체의 경우 군집별 가중치 순서대로 상수도관망 누수량, 단수영향 급수전수, 21년 이상 관로비율이 높은 군단위 지자체가 해당 군집내에서 높은 위험도를 갖기 때문으로 판단된다.

본 연구에서 제안한 군집별 위험도 관리순위 결정 방법론은 거시적 관점에서 국가주도의 국고보조금을 지원하는 상수도시설 관련 사업의 계획 수립시 우선적으로 국고보조금을 지원해야 할 시범사업 대상 지자체의 선정 등 합리적인 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 제안한 방법론은 다기준의사결정기법을 활용한 선행연구에서 제안한 방법론을 더욱 구체화한 것으로 향후 다양한 평가지표를 활용하여 지자체 간의 위험도 순위 분석, 지자체 내 블록 간의 위험도 순위 분석, 상수관로의 위험도 순위 분석 등 공급의 안정성 확보를 위한 유지관리계획 수립 및 자산관리계획 수립 등 단계적 재정투자계획 수립 시 활용가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 “상하수도 혁신 기술개발사업 - 상수관망 고정밀, 원격 모니터링 및 노후도 예측기술 개발(2020002700016)” 으로부터 지원 받았습니다.

References

- Hoses, M.T., Fabrice, A.N., Hadi, M., and Razak, S. (2021). Nodal vulnerability assessment of water distribution networks: An integrated Fuzzy AHP-TOPSIS approach, *Int. J. Crit. Infrastruct.*, 34, 100434.
- Huang, J.W. (2008). “Combining entropy weight and TOPSIS method for information system selection”, *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 1-3 September, 2008, Qingdao, China, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Kim, J.H., Choe, D.Y., and Bae, C.H. (2019). Management status of deteriorated water pipes and improvement through diagnosis, *Water Future*, 52(9), 6-16.
- Kim, J.Y. (2017). A study on the investment cost evaluation



- model for efficiency improvement of waterworks maintenace, Master's Thesis, University of Seoul, Seoul, Republic of Korea.
- Kwon, H.J. (2018). Management index for the decision making of priority of the improvement in water distribution system, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 18(2), 239-245.
- Kwon, O.J. (2018). *Multi-criteria decision making methodology theory and application*. Bookshill.
- Lee, S.W. (2011). Reliability Assessment of Water Distribution Systems using Management Reliability Index, Master's Thesis, University of Seoul.
- Lee, S.M., Choi, Y.J., and Yi, J.E. (2020). Urban flood vulnerability assessment using the entropy weight method, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 20(6), 389-397.
- MOE. (2020). Local water distribution system rebuilding project work handbook.
- Pengyu, C. (2019). Effects of normalization on the entropy-based TOPSIS method, Expert Syst. Appl., 136, 33-41.
- Seong, J.H. (2016). A study on the weights of the condition evaluation of rock slope used in entropy and ahp method, J. Korean Soc. Saf., 31(5), 61-66.
- Seoul Metropolitan. (2015). White Paper on Waterworks Revenue Water Ratio of Seoul.
- Yusuf, K., Özgr, Ö., Cansu, O., and Mahmut, F. (2018). Evaluation of technical performance of pipes in water distribution systems by analytic hierachy process, Sustain. Cities Soc., 42, 13-21.

pp. 379-387

pp. 389-403

pp. 405-415

pp. 417-424

pp. 425-436

pp. 437-454

pp. 455-463

pp. 465-476

pp. 477-487

pp. 489-496

pp. 497-505

pp. 507-516

pp. 517-531

pp. 533-544