

수행능 지표(Performance Indicator)와 군집분석을 이용한 하수도시설 및 운영 평가

The Assessment of Wastewater Treatment and Management Using Performance Indicators and Cluster Analysis

김신걸¹ · 최태용² · 구자용^{1,*}

Kim, Shin-Geol¹ · Choi, Tae-Yong² · Koo, Ja-Yong^{1,*}

1 서울시립대학교 환경공학부

2 한국상하수도협회

(2006년 9월 1일 논문 접수; 2007년 2월 21일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Performance indicators haven't been used for the assessment of the wastewater treatment facility or management in Korea yet, therefore they are going to be important parts in wastewater utilities because they are used to understand present situation and to compare one with other wastewater utilities. In this study, we used performance indicators to assess the condition of wastewater utilities and they were divided into four categories (A, B, C, and D). A category represented the condition of the planning & construction and composed of wastewater supply, disaster defence and employees. B category represented maintenance of wastewater utilities and were composed of manhole, sewer, and technical employees. C category showed the operation efficiency of wastewater utilities and D category represented the environmental load. To analyze the situation of wastewater utilities overall, cluster analysis was performed using four categories indicators. And CCC (Cubic Clustering Criterion) and R-square were used to decide the proper number of clusters, and wastewater utilities of 48 cities were divided into 5 groups(I, II, III, IV, and V groups). Each cluster was analyzed by average and standard deviation to understand the situation of wastewater utilities. A group analysis showed that IV and V clusters were insufficient, B group showed that I and IV groups were insufficient, C group showed all clusters are above average, and D group was also like C group.

Key words: Cluster analysis, Performance indicator, wastewater utility

주제어: 군집분석, 평가지표, 하수도 시설

*Corresponding author Tel: +82-2-2210-2624, FAX: +82-2-2244-2245, E-mail: jykoo@uoscc.uos.ac.kr (Koo, J.Y.)

1. 서론

하수도 사업은 도시의 위생 및 재해방지를 담당하고 있을 뿐만 아니라 산업화 이후로 희소자원이 된 수자원을 재생산해 주는 역할까지 담당하게 되어 그 중요성이 더욱 높아지고 있다(환경부, 2005). 이러한 하수도 사업에 대해 과거 우리나라에서는 정부에서 관할하는 공공의 성격이 강하다고 판단하여 사업으로서의 기능에 대해서는 다소 무관심하였다. 그러나 이제 세계는 자유무역시대를 맞고 있으며, 이에 발맞추어 상하수도 사업에 있어서도 ISO(International Organization of Standardization)에 따른 규격화가 진행되어오고 있다(Vivian et al., 2005). 따라서, 이제 우리도 하수도 사업에 대해서 공공재로서의 성격과 함께 사업으로서의 성격도 인지하여 대처하여야 하겠다. 본 연구에서는 수행능 지표(Performance Indicator)를 이용하여 이를 평가하고자 한다. 수행능 지표라는 것은 현재 사업상태를 파악하기 위해 사업제반에 관한 시설, 운영, 효율, 재정 및 인력 등의 상태를 인자로 파악하여 점수화한 것으로 동종 사업들간의 비교, 장래 목표값의 설정 등에 매우 중요한 역할을 한다(Christine et al., 2000). 이러한 수행능 지표는 각 사업들간의 평가뿐만 아니라 도시·건축·환경 등의 분야에서도 응용되어 왔으며 이중 환경분야에서는 장래의 지속적인 발전을 위한 도시기반평가, 정수장의 환경평가 등의 분야에 응용되어 왔다(Coulibaly et al., 2004; 황영우 et al., 2005). 또한 하수도 사업의 평가에 있어서도 하수도 기능들 가운데 재해방지기능의 측면에서는 이미 연구된 사례가 있다(Bertrand-Krajewski et al., 2002; Richard et al., 2002).

하수도 사업은 크게 하수처리장, 관로, 펌프 등의 기반시설과 인력, 재정 등의 인프라로 구성되어 있으며 이 밖에도 평가의 측면에서 재해방지, 환경부하 등의 조건 등이 추가될 수 있다(Refaela et al., 2003). 따라서, 하수도 사업에 대해서 평가를 한다는 것은 평가자의 의지에 따라 서로 상이하게 다른 항목으로 구성될 수 있으나 본 연구에서는 하수도 사업과 관련된 지표들을 크게 네가지로 나누었다. 우선 재정적인 의사결정에 도움을 줄 수 있도록 하기 위해 시설이 충분한가와 잘 유지관리되고 있는가에 대해 각각 시

설의 완비율에 관한 인자(A 카테고리)와 시설의 유지 관리에 관한 인자(B 카테고리)로 나누었다. 또한, 현재 운영 및 경영 상태에 도움을 줄 수 있는 자료를 제공하기 위해 운영 효율에 관한 인자(C 카테고리), 그리고 최근들어 그 중요성이 더욱 부각되고 있는 환경 부하에 관한 인자(D 카테고리) 등으로 나누어졌으며, 이들 지표를 48개 도시에 적용시켜 점수화하였다(환경부, 2005). 점수화 이후에는 하수처리장의 전반적인 경향을 파악하기 위해 군집분석을 하였으며 군집분석결과를 토대로 각 군집에 속한 하수도 시설 및 운영에 대해서 고찰을 실시하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 48개 도시의 하수도 사업을 하수도 통계 2005의 자료에 기초하여 수행능 지표로 점수화한 이후에 각 하수도 사업에 대한 종합적인 판단을 위해 점수화된 수행능 지표값을 입력자료로 하여 군집분석을 실시하였다. 본 절에서는 여기에 쓰인 수행능 지표와 군집분석에 대해서 설명한다.

2.1. 수행능 지표와 점수

본 절에서는 본 연구에서 사용된 수행능 지표에 대해서 설명한다. IWA(International Water Association)에서 발행한 매뉴얼에 따르면 하수도사업에 관한 수행능 지표는 크게 환경인자(Environmental indicator)와 인적자원에 관한 인자(Personnel indicator), 시설인자(Physical indicator), 운영인자(Operational indicator), 서비스질에 관한 인자(Quality of service indicator), 경제 및 재정 관련인자(Economical and financial indicator) 등으로 나누어진다(Rafaela et al., 2003). 이들 인자들은 분석자의 주관 및 해당하는 자료의 취득여부에 따라서 바뀔 수가 있다. 이에 본 연구에서는 현재 한국에서의 상황이 하수도 계획이 진행되고 있다는 점을 고려하여 펌프, 시설, 관로 및 유수지의 확보 등의 시설과 관련된 지표들을 A 카테고리 구성하였다. 또한 하수도 시설물중에 유지관리와 관련된 수리, 준설, 기술 인력의 확보 등에 대한 지표들을 B 카테고리로 구성하였다. 또한 하수처리장, 관로 등에 대한 비용의 효율과 부채 등의 재정에 관련된 인자들을 C 카테고리로 구성하였다. 최근에

중요성이 더욱 증대된 환경부하에 대해서는 슬러지의 처분, 유출수질, 수질위반횟수 등을 고려하여 D 카테고리 로 구성하였다. 이러한 네 개의 카테고리 중 A와 B 카테고리는 예산의 배분에 관한 카테고리이며, C 카테고리는 하수처리장의 효율성, D 카테고리는 환경에 대한 영향을 나타낸다. 이들에 대한 내용은 Table 1~4와 같으며 이용된 자료는 하수도 통계 2005를 참조하였다.

2.1.1. 시설 완비율에 관한 카테고리(A 카테고리)

하수도 사업에서의 시설 및 인력이 전반적으로 잘 갖추어져 있는가를 판단하는 지표들의 카테고리로서 A1~A8의 8개의 인자로 구성되어 있다. 이 지표 카테고리에서는 하수도의 보급률(A1), 하수도 관거의 계획대비 보급률(A2), 재해대비 시설들의 대처 능력을 알아보기 위해 유역대비 유수지 용량(A3), 유역대비 양수능력(A4), 유역대비 계획시간 최대 배수량(청천시-A5, 우천시-A6) 등의 인자들이 있다. 또한 현재의 시설이 적정인가에 대해서 시설용량 대비 처리량(A7), 하수처리장 인력에 대해서는 관련종사인력당 인구(A8) 등이 있다. 배점기준은 우선 전체 하수도사업소의 평균을 구하였으며 이 평균값으로부터 분포가 등분되도록 결정하였다. 인자에 대한 사항들은 Table 1과 같다. 해당하는 수행능 지표가 높을 수록 시설의 보급이 충실하다는 것을 보여준다.

이들 지표중 A1의 IWA의 지표중 wQS2 Resident population served by WWTP이며, A8은 wPe1 Personnel in WWT per population equivalent이다. A7은 wC15 Daily tertiary treatment capacity와 관련된 지표로서 시설물의 용량이 적정인가에 대한 지표이다. 그리고 A2~A6까지는 유수지와 펌프의 용량, 하수처리장의 용량으로서 재해대비에 대한 시설의 투자가 적절인가를 나타내는 지표로서 A 카테고리가 예산의 배분과 관련된 항목이기 때문에 만들어진 지표들이다.

2.1.2. 시설 유지관리에 관한 카테고리(B 카테고리)

하수도 시설물의 유지관리에 대한 인자들을 추출하였다. 하수도 시설물의 맨홀과 관거에 대해 개보수, 준설된 비율과 전체 기술인력당 관거길이 등 총 9개의 인자로 구성되어 있다. 우선 맨홀에 대한 개보수 및 준설에 관한 인자로서는 B1과 B8이 있으며 관거에 대해서는 B2~B7까지의 6개의 인자가 있다. 인력에 대해서는 기술인력당 하수관거 B9로 구성되어 있으며, 전체적인 사항은 Table 2와 같다. 수행능 지표가 높을 수록 시설물의 유지관리가 잘 이루어진다는 것을 의미한다.

이들 지표들 중 B1과 B8은 IWA지표 wOp25의 Manhole chambers replacement, renewal, renovation과 관련된 지표이며 B2~B4는 IWA지표 wQp21~23

Table 1. A 카테고리의 수행능 지표의 내용 및 배점기준

카테고리	수행능지표	내 용	점수기준
A	A1	하수도가 보급된 지역의 인구/하수처리구역내 총인구	90% 이상:10, 80~90%:8, 70~80%: 6, 60~70%:4, 60% 이하: 2
	A2	건설된 관거연장/계획관거 총연장	80% 이상:10, 60~80%:8, 40~60%: 6, 20~40%:4, 20% 이하: 2
	A3	유수지 용량/전체 배수구역면적	12,000 이상:10, 5,000~12,000:8, Under 5,000: 6, 유수지 없음: 2 [단위: m ² /km]
	A4	배수펌프용량/전체 배수구역면적	100 이상:10, 50~100:8, 5~20: 6, 5 이하: 4 [단위: m ³ /min/km]
	A5	전체 배수구역면적/청천시 배수펌프 용량	50 이상:10, 20~50:8, 5~20: 6, 5 이하: 4, 배수펌프장이 없음: 2 [단위: km/(m ³ /hr)]
	A6	전체 배수구역면적/우천시 배수펌프 용량	50 이상:10, 20~50:8, 5~20: 6, 5 이하: 4, 배수펌프장이 없음: 2[단위: km/(m ³ /hr)]
	A7	하수처리량/시설용량	75% 이상:10, 75~85%:8, 85~95%: 6, 95~105%:4, 115% 이상: 2
	A8	하수도 사업소 직원총수/배수구역내 총인구	8,000 이상:10, 6,000~8,000:8, 4,000~6,000: 6, 2,000~4,000:4, 2,000 이하: 2 [단위:인/인]

Table 2. B 카테고리의 수행능 지표의 내용 및 배점기준

카테고리	수행능지표	내 용	점수기준
B	B1	수리된 맨홀의 개수/전체 맨홀의 개수	10% 이상:10, 6~10%:8, 4~6%: 6, 2~4%:4, 2% 이하: 2
	B2	수리된 합류식 관거/전체 합류식 관거	10% 이상:10, 6~10%:8, 4~6%: 6, 2~4%:4, 2% 이하: 2
	B3	수리된 분류식의 우수관거/전체 분류식의 우수관거	2% 이상:10, 1~2%:8, 0.5~1%: 6, 0.5% 이하: 4, 0%: 2
	B4	수리된 분류식의 오수관거/전체 분류식의 오수관거	2% 이상:10, 0.5~2%:8, 0.2~0.5%: 6, 0.2% 이하: 4, 0%: 2
	B5	준설된 합류식 관거/전체 합류식 관거	10% 이상:10, 5~10%:8, 2~5%: 6, 2% 이하: 4, 0%: 2
	B6	준설된 분류식의 우수관거/전체 분류식의 우수관거	10% 이상:10, 6~10%:8, 4~6%: 6, 2~4%:4, 2% 이하: 2
	B7	준설된 분류식의 오수관거/전체 분류식의 오수관거	10% 이상:10, 6~10%:8, 4~6%: 6, 2~4%:4, 2% 이하: 2
	B8	준설된 맨홀의 개수/전체 맨홀개수	10% 이상:10, 6~10%:8, 4~6%: 6, 2~4%:4, 2% 이하: 2
	B9	하수처리장 기술인력/전체 하수관거	5,000 이하:10, 5,000~10,000:8, 10,000~15,000: 6, 15,000~25,000:4, 5,000 이상: 2 [단위: 인/km]

Sewer rehabilitation, replacement, renovation과 관련된 지표이다. B5~B7은 wOp2 Sewer cleaning과 관련된 지표이며 B9은 wPe11 Technical SE personnel이다. 원래 이 분야에 대한 항목으로 펌프의 검사와 유량계의 검증이 추가되어야 하지만 이들 자료는 하수도 통계에 나와 있지 않아서 생략하였다.

2.1.3. 시설 운영효율에 관한 카테고리(C 카테고리)

C 카테고리는 하수도 시설물의 유지관리 및 재정 상태, 인력이 효율적인가를 판단하는 지표들로서 총 10개의 지표로 구성되어 있다. 우선 경영상의 지표로서는 하수도 처리비용의 현실화율(C1)과 하수도의 처리원가(C2), 예산대비 부채비율(C10)이 있으며 유지관리에 대한 비용으로서는 준설톤당 금액(C3), 하수관거 연장당 준설비용(C4), 하수관거당 운영유지비(C5), 시설량 대비 개보수비(C6), 시설량 대비 운영유지비(C7), 하수관거 대비 개보수비(C8)로 구성되어 있으며, 전체적인 내용은 **Table 3**과 같다. 수행능 지표가 높을 수록 운영대 비용이 높아 효율적이라는 것을 의미한다.

이들 중 C1은 IWA 항목 중 wFi21 Wastewater treatment running cost, C2는 wFi5 Unit total cost per p. e.로서 하수처리장 전체 운영과 관련된 항목이다. C3

과 C4는 wFi22의 Sewer system running cost이며 C5는 wFi6 Unit total cost per length of sewer, C8은 wFi8 Repairing cost per length of sewer는 관로의 운영관리비용에 관한 항목이다. C6과 C7은 wFi7 Unit running cost per p. e.로서 하수처리장의 유지관리와 관련된 항목이다. C9는 wPe10 Technical WWT personnel로서 하수처리장의 기술인력비율이며, C10은 wFi40 Debt equity ratio로서 하수처리장의 재무상태를 나타내는 지표이다.

2.1.4. 환경부하에 관한 카테고리(D 카테고리)

하수처리수에 대한 자원으로서의 이용가치가 높아짐에 따라 하수처리수의 환경부하에 대한 관심이 계속 높아지고 있다. 이에 하수도 사업의 평가에서도 반드시 필요한 항목이라 판단하여 **Table 4**와 같이 구성하였다. 수행능 지표의 값이 높을 수록 환경에 대한 영향이 적은 시설로서 환경친화적이라는 것을 의미한다.

이들 지표들 중 D1은 IWA의 wEn7 sludge utilisation, D2는 wEn 9 sludge going to landfill, D3은 wEn10 Sludge thermally processed, D4는 wEn11 other sludge disposal과 관련이 있으며 모두 슬러지의 처분과 관련된 지표들이다. D5~D8은 방류수 수질항목

Table 3. C 카테고리의 수행능 지표의 내용 및 배점기준

카테고리	수행능지표	내 용	점수기준
C	C1	하수도가격 현실화율	100% 이상:10, 80~100%:8, 60~80%: 6, 40~60%:4, 20% 이하: 2
	C2	하수처리량당 소요총비용	250 이하:10, 250~500:8, 500~750: 6, 750~1,000:4, 25,000 이상: 2 [단위: 원/㎡]
	C3	준설비용/준설량	50,000 이하:10, 50,000~100,000:8, 100,000~150,000: 6, 150,000~250,000: 4, 250,000 이상: 2 [단위: 원/㎡]
	C4	준설비용/전체 하수관거	200,000 이하:10, 200,000~500,000:8, 500,000~800,000: 6, 800,000~1,000,000: 4, 1,000,000 이상: 2 [단위: 원/km]
	C5	유지관리비/전체 하수관거	250 이하:10, 250~500:8, 500~750: 6, 750~1,000: 4, 25,000 이상: 2 [단위: 원/km]
	C6	개보수비용/하수처리장 시설용량	3 이하:10, 3~6: 8, 6~9: 6, 9~12: 4, 12 이상: 2 [단위: 원/㎡]
	C7	운영비/하수처리장 시설용량	5,000 이하: 10, 5,000~20,000: 8, 20,000~50,000: 6, 50,000~100,000: 4, 100,000이상: 2 [단위: 원/㎡]
	C8	하수관거당 보수비용	1,000,000 이하:10, 1,000,000~3,000,000: 8, 3,000,000~5,000,000: 6, 5,000,000~8,000,000: 4, 8,000,000 이상: 2 [단위: 원/km]
	C9	전체 기술인력/전체 인력	90~100%:10, 80~90%:8, 70~80%: 6, 60~70%:4, 60% 이하: 2
	C10	예산대 부채비율	0~20%: 10, 20~50%:8, 50~100%: 6, 100~300%:4, 300% 이상: 2

Table 4. D 카테고리의 수행능 지표의 내용 및 배점기준

카테고리	수행능지표	내 용	점수기준
D	D1	재활용 슬러지/전체슬러지	80~100%:10, 60~80%:8, 40~60%: 6, 20~40%:4, 0~20%: 2
	D2	매립처리된 슬러지/전체슬러지	0~20%:10, 20~40%:8, 40~60%: 6, 60~80%:4, 80~100%: 2
	D3	소각처리된 슬러지/전체슬러지	80~100%:10, 60~80%:8, 40~60%: 6, 20~40%:4, 0~20%: 2
	D4	해양투기된 슬러지/전체슬러지	0~20%:10, 20~40%:8, 40~60%: 6, 60~80%:4, 80~100%: 2
	D5	하수방류수 중 BOD농도	Under 4:10, 4~8: 8, 8~12: 6, 12~16: 4, Above 16: 2 [단위: mg/l]
	D6	하수방류수 중 COD농도	Under 5:10, 5~10: 8, 10~15: 6, 15~20: 4, Above 20: 2 [단위: mg/l]
	D7	하수방류수 중 T-N농도	Under 10:10, 10~14: 8, 14~18: 6, 18~22: 4, Above 22: 2 [단위: mg/l]
	D8	하수방류수 중 T-P농도	Under 0.8:10, 0.8~1.2: 8, 1.2~1.6: 6, 1.6~2.0: 4, Above 2.0: 2
	D9	방류수질 위반횟수	No violation:10, One time violation: 8, Two times violation: 6

들로서 각각 wOp45, 46, 48, 49에 해당한다. D9는 유출수 위반횟수로서 wQs22 Pollution incidents complaints에 해당한다. 이 밖에도 병원성 미생물에 대한 검출, 유해가스, 악취 등에 대한 항목도 포함되어야 하지만 하수도 통계를 통하여서는 전체적인 자료를 얻을 수 없었다.

2.2. 군집분석

2.2.1 군집분석개요

N개의 특성을 가지는 P개의 개체가 존재한다고 할 때에 이것을 공간상으로 표현하면 N차원의 공간 좌표를 가지는 P개의 점이 존재한다고 할 수 있다. 군집분석이란 바로 이들 점들이 공간상에서 뭉쳐있는 가 혹은 흩어져 있는가를 판단하여 같은 속성의 군집

을 찾는 것이다. 이때 공간상의 군집들을 군집화하는 방법에는 크게 계보적인 방법과 비계보적인 방법이 있다. 여기서 계보적인 방법이란 군집을 각각의 점에서 시작하여 가장 가까운 혹은 먼 점들을 통합 혹은 제외시키면서 군집화를 이루어가는 과정으로서 크게 최단, 최장, 중수위, 중심, 평균, 위드의 방법 등의 6 가지 방법으로 나누어진다. 그러나, 계보적인 방법은 초기군집단계에서 적절하지 못한 병합이나 분리가 발생하였을 때 그것이 다시 수정되는 기회가 없기 때문에 적절하지 못한 군집을 형성하게 된다(유동선, 2000). 따라서, 본 연구에서는 2.2.2절의 적정 군집 개수 설정방법에 따라 적정갯수를 설정하여 비계보적인 군집분석을 실시하였다.

2.2.2. 적정 군집갯수 설정방법

군집분석에 있어서 적정한 군집의 개수가 얼마인가에 대한 연구는 지금까지 많이 이루어져 왔다. 이 중에서 추천되는 방법은 군집의 개수에 따른 R-square 값과 CCC(Cubic clustering criterion)의 변동으로 파악하는 방법이다. 이에 대해 설명하면 식 (1)은 전체 산포행렬이며, 식 (2)는 군집간 산포행렬, 식 (3)은 군집내 산포행렬이다. 이 때에 R-square 값은 식 (4)와 같이 표현될 수 있다. 이것은 R-square가 중회귀모형에서 전체 변동중에 모델에 의해 표현되는 비율이었던 것과 마찬가지로 여기에서는 전체 거리에서 군집에 의해 표현되는 거리의 비율이 된다.

$$T = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{N_i} (X_{ij} - \bar{X})(X_{ij} - \bar{X})' \quad (1)$$

$$W = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{N_i} (X_{ij} - \bar{X})(X_{ij} - \bar{X})' \quad (2)$$

$$B = \sum_{i=1}^g N_i (\bar{X}_i - \bar{X})(\bar{X}_i - \bar{X})' \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\text{trace}(W)}{\text{trace}(T)} \quad (4)$$

여기에서, X_{ij} : j 군집의 i 번째 개체, \bar{X} : 전체 개체의 평균, \bar{X}_j : 군집 j 의 평균

이때에 최적 군집의 개수는 군집내 산포행렬을 최소화 시키고 군집간 산포행렬을 최대화 시키는 작업이라 할 수 있다. 이것을 다시 표현하면 최적군집화하는 방법은 전체 군집거리에 대해 군집내의 거리를 최소화시키는 것이라고 표현할 수 있다. 이를 위한 구체적인 방법은 다음과 같다. 만약 어떤 점들이 균일하게 분포하고 있다고 가정하에서 예상되는 R-square의 값과 실제로 표본을 추출하여 얻은 R-square의 값이 차이를 보이고 더 높은 R-square의 값을 가지는 경우에는 군집이 존재할 확률이 높아진다. 따라서, 이러한 성격을 이용하여 귀무가설(공간내 점들이 균일하게 분포한다)과 대립가설(공간내 점들이 군집을 형성하여 분포한다)로부터 유도된 계수가 바로 Cubic Clustering Criterion으로서 식 (5)와 같다(SAS, 1992).

$$CCC = \ln \left[\frac{1 - E(R^2)}{1 - R^2} \right] \frac{\sqrt{\frac{np^*}{2}}}{(0.001 + E(R^2))^{1.2}} \quad (5)$$

여기에서, $E(R^2)$: R^2 의 기댓값, p^* : 군집의 개수 g 를 넘지않는 최대 정수, n : 개체의 숫자

CCC의 값이 극소적인 최대를 보일수록 최적군집일 확률이 높으며, 높은 값을 가질 수록 군집이 뭉쳐 있다는 것을 의미한다.

2.2.3. k-평균군집법

앞절에서 설명한 것과 같이 군집분석의 방법에는 계층적인 방법과 비계층적인 방법이 있는데 비계층적인 방법에 있어서는 군집분석의 초기에 2.2.2절과 같은 방법에 의해 군집의 숫자(k 개)를 정해놓고 시작하게 된다. 이것이 바로 k -평균군집법이다. 이 k -평균군집법에서는 군집간 산포행렬에 대해 군집내 산포행렬의 비를 최소화하는 방안에 대해서 고려하는데 이것이 바로 우도비 검정통계량(Likelihood ration test statistic)인 Wilks의 람다(Lambda)를 이용하는 방법으로 식 (6)과 같다.

$$\Lambda = |W| / |T| \quad (6)$$

여기에서, $|T|$ 는 전체 산포행렬이며, $|W|$ 는 군집

내 산포행렬이다. 전체 산포행렬은 이미 정해진 값이기 때문에 최적의 군집으로 만들기 위해서는 바로 군집내 산포행렬을 최소로 하며 이에 바탕을 두어 군집의 통합이 이루어진다(김기영 et al., 1998).

3. 연구결과

우선 3.1절에서는 수행능지표를 이용한 점수화 및 점수의 분포에 대해서 설명하며, 3.2절에서는 적정 군집의 개수 및 군집화를 실시한다. 3.3절에서는 각 군집에 대해서 특성을 파악하여, 하수도 사업의 전반적인 평가를 실시한다.

3.1. 수행능 지표 점수화

본 절에서는 2.1절에서 설명한 기준에 의거하여 군집화를 실시하였다. 대상은 48개 도시를 대상으로 하였으며 점수 결과는 Table 5와 같다.

이들 A, B, C, D 카테고리의 상관성은 분석결과 거의 없는 것으로 판명나서 바로 군집분석의 입력값

으로 사용하였다.

3.2. 군집화

본 절에서는 앞절에서 실시한 각 카테고리별 인자들의 점수평균을 바탕으로 군집화를 실시하였으며, 두 단계로 이루어졌다. 첫 번째 단계는 R-square와 CCC지표를 이용하여 적정 군집의 개수를 결정하는 것이며, 두 번째로는 k-평균 군집법을 통하여 군집화하는 것이다.

3.2.1. 적정 군집의 결정

군집분석에 있어서 적정군집의 결정에 대해서 확정된 방법은 아직 없다. 하지만, 본 연구에서는 R-square와 CCC를 이용하여 최적 군집숫자를 결정하였다. 군집의 숫자에 따른 R-square와 CCC는 Fig. 1과 같다.

우선 Fig. 1의 결과를 살펴보면 CCC의 값이 전부 음의 값을 가지고 있는데 이것은 전체적으로 군집이 확연히 들어나지 않는다는 것을 의미한다. 군집의 개

Table 5. The scores of 48 cities in each PI group

OB No.	A	B	C	D	OB No.	A	B	C	D
1	7.25	5.33	5.80	5.56	25	5.75	4.00	6.80	7.56
2	6.75	5.56	6.80	7.33	26	7.50	5.78	6.80	5.33
3	7.75	6.89	7.20	6.00	27	4.25	7.33	5.60	5.78
4	5.00	6.00	7.60	6.44	28	4.25	6.67	7.60	6.44
5	7.00	6.22	6.00	7.11	29	4.25	4.89	6.40	5.33
6	6.50	5.56	7.00	5.78	30	5.00	8.00	6.00	8.67
7	6.25	6.44	4.20	4.89	31	4.50	5.56	5.80	6.00
8	3.25	6.67	4.80	5.33	32	6.75	5.56	8.00	6.00
9	6.50	6.89	4.80	6.89	33	5.00	3.56	6.20	6.44
10	7.50	5.56	6.80	6.22	34	7.50	6.44	6.80	7.11
11	8.50	5.33	5.00	7.56	35	6.75	5.33	8.00	7.33
12	6.75	5.33	6.40	3.78	36	5.50	6.22	6.20	4.44
13	6.50	6.67	6.00	5.56	37	5.25	6.67	5.40	5.33
14	5.25	7.11	8.00	5.56	38	5.25	7.56	7.20	4.22
15	4.50	6.00	7.60	6.22	39	6.00	6.22	8.20	5.33
16	5.25	4.44	6.00	6.22	40	7.00	6.67	8.00	5.56
17	4.25	6.67	6.20	5.11	41	6.00	4.67	7.20	5.11
18	4.50	5.11	7.40	6.00	42	5.50	6.67	5.80	7.33
19	4.00	4.44	7.40	5.33	43	5.75	5.33	4.80	6.44
20	5.75	4.44	5.40	7.56	44	5.25	6.67	6.00	6.22
21	6.50	3.78	6.40	7.56	45	7.25	7.56	7.20	7.11
22	5.50	5.11	6.80	7.33	46	6.25	2.22	7.40	4.89
23	6.50	6.00	6.80	5.56	47	7.25	7.11	6.20	7.56
24	5.50	4.89	8.20	5.56	48	6.50	5.56	7.80	4.89

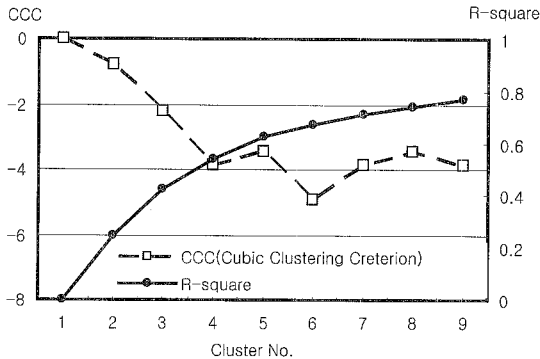


Fig. 1. Cubic cluster clustering and R-squares as cluster number.

수에 따른 CCC의 값을 살펴보면 5개와 8개에서 국소적인 최대값을 가진다. 그런데 전체 자료의 개수, 즉 대상도시의 숫자가 48개라는 점을 고려해 본다면 군집당 소속 개체수가 10여 개 근처인 5개가 적당한 것으로 판단된다. 또한 R-square의 값이 군집의 개수 5개에서 0.626으로서 정보의 왜곡현상을 방지하기에는 충분한 값이라고 판단되어 군집의 개수를 5개로

하였다.

3.2.2. k-평균군집법

k-평균군집법에 따라 전체 48개의 도시를 5개로 군집화한 결과가 Table 6과 같으며 5개의 군집으로 나눈 결과는 Table 7과 같다.

3.3. 각 군집의 특성

본 연구에서는 하수도사업에 대한 수행능 지표에 바탕을 둔 k-평균 군집법을 통하여 5개의 군집으로 나누었으며, 그 결과는 Table 7과 같다. 이에 대해 3.3.1에서는 각 그룹의 전체적인 성격에 대해서 정리 하며, 3.3.2에서는 각 인자집단들에 대한 특징들에 대해서 파악하고, 3.3.3에서 분류된 군집의 카테고리 리를 분석하여 예산배분에 관한 제안을 하였다

3.3.1. 각 그룹의 성격

이들 지표그룹들이 가지는 평균값에 대한 표준편차의 비율이 적을수록 더욱 강한 단일성격을 나타내

Table 6. 5개 그룹에 대한 각 카테고리에서의 수행능 지표에 대한 평균 및 표준편차

군집	평균과 표준편차	A	B	C	D
I OB2 OB11 OB16 OB20 OB21 OB22 OB25 OB33 OB43	평균	6.08	4.62	6.02	7.11
	표준편차	1.06	0.74	0.78	0.57
II OB5 OB9 OB30 OB34 OB42 OB45 OB47	평균	6.57	6.98	6.11	7.40
	표준편차	0.96	0.63	0.77	0.60
III OB1 OB3 OB6 OB10 OB12 OB13 OB14 OB23 OB26 OB32 OB35 OB39 OB40 OB48	평균	6.75	5.97	7.20	5.60
	표준편차	0.65	0.63	0.81	0.77
IV OB4 OB15 OB18 OB19 OB24 OB28 OB29 OB41 OB46	평균	4.92	4.99	7.42	5.70
	표준편차	0.82	1.27	0.47	0.59
V OB7 OB8 OB17 OB27 OB31 OB36 OB37 OB38 OB44	평균	4.86	6.64	5.71	5.26
	표준편차	0.89	0.58	0.87	0.68

Table 7. 5개로 나누어진 하수도 사업체의 특징

군집	특징	해당 하수도사업소 개수
I	하수도 시설이 잘 갖추어져 있으며 운영효율이 높고, 환경에 대한 영향이 적다. 그러나 유지관리는 만족스럽지 못하다.	9
II	하수도 시설이 잘 갖추어져 있으며 운영효율이 높고 유지관리가 잘 이루어지고 있다. 환경에 대한 영향도 적다.	7
III	하수도 시설이 잘 갖추어져 있으며 운영효율이 높다. 유지관리와 환경에 대한 영향은 중간정도의 수준이다.	14
IV	운영효율은 높지만 환경부하는 높다. 그리고 시설과 운영관리 모두 잘 되고 있지 않다.	9
V	운영관리는 잘 되고 있고 운영 효율과 환경부하는 중간이다. 하수도 시설은 잘 갖추어져 있지 않다.	9

Table 8. The Cities in IV and V needs a bigger budget in A category

Structure supply			Disaster defence		Employee
Plant	Sewer	Pump	Retention place	Pumping ability	
OB8 OB17 OB18 OB19 OB28 OB29 OB36 OB41 OB46	OB8 OB18 OB19 OB29 OB46	OB4 OB8 OB17 OB27 OB28 OB31 OB38 OB44	OB4 OB8 OB15 OB19 OB24 OB29 OB31 OB37 OB38 OB41 OB44	OB4 OB8 OB27 OB28 OB31 OB38 OB44	OB4 OB7 OB31

Table 8. The Cities in IV and V needs a bigger budget in A category

Structure supply			Disaster defence		Employee
Plant	Sewer	Pump	Retention place	Pumping ability	
OB8 OB17 OB18 OB19 OB28 OB29 OB36 OB41 OB46	OB8 OB18 OB19 OB29 OB46	OB4 OB8 OB17 OB27 OB28 OB31 OB38 OB44	OB4 OB8 OB15 OB19 OB24 OB29 OB31 OB37 OB38 OB41 OB44	OB4 OB8 OB27 OB28 OB31 OB38 OB44	OB4 OB7 OB31

는 것이며, 전체적으로 이들 인자들은 잘 분류된 것으로 판단된다. 이들 각 군집에 대한 각 그룹인자들의 성격을 파악하면 Table 7과 같다.

각 그룹의 성격에 대해서 살펴보면 우선 제 I 그룹의 경우에는 시설물은 잘 갖추어져 있고, 유지관리의 효율이 높고, 환경부하에 대해 아주 우수하지만 상대적으로 유지관리가 미흡한 그룹으로 관심이 필요한 그룹이다. 제 II 그룹의 경우에는 시설확보, 유지관리, 운영효율, 환경부하 모두 우수한 그룹이며 제 III 그룹의 경우에는 시설 확보 및 운영효율에 있어서는 우수하지만 유지관리 및 환경부하에 있어서는 보통수준인 그룹이다. 제 IV 그룹은 운영효율면에서는 우수하지만 환경부하에 있어서는 보통이지만 예산의 배분과 관련된 시설의 확보 및 유지관리에 있어서는 미흡한 그룹으로서 관심이 필요한 그룹이다. 제 V 그룹의 경우에는 유지관리, 운영효율, 환경부하 모두 양호한 수준이지만, 시설의 확충이 다소 미흡한 그룹으로 제 I, IV 그룹과 함께 관심이 필요한 그룹이다.

3.3.2. 각 그룹의 카테고리에 대한 고찰

군집분석의 내용을 정리하면 예산과 관련된 A와 B 카테고리 인자들의 경우에 있어서 우선 A 카테고리에 대해 관심을 가져야 할 군집으로서는 IV와 V 군집이며, B 카테고리 인자들에 있어서는 I과 IV 그룹이 관심의 대상이 된다. 이밖에 운영효율에 대해서는 I, II, III과 IV 그룹에서는 양호하게 운영됨을 알 수 있으며, V 그룹에서는 중간정도의 운영효율을 보여주

고 있다. 환경부하에 있어서는 I과 II 그룹에서는 잘 관리되고 있으며, III, IV와 V 그룹에서는 중간정도의 관리정도를 보여주고 있다.

3.3.3. 결과에 따른 정책제언

예산과 관련된 A 및 B 카테고리에 대해서 어느 부분에 대해 예산배분이 우선 필요한가에 대해서 알아보기 위해 세부항목에 대해서 확인을 하였다. 우선 시설의 보급과 관련된 A 카테고리 인자들에 대해서는 시설공급, 재해방지능력, 하수도 사업인력 등의 세 개의 부분으로 나누어져서 각 세부항목들에 대해서 확인한 결과 Table 8에 표시된 도시들에 우선적으로 예산을 편성해야 한다는 결론에 이르렀다.

따라서, Table 8을 참고하면 하수도 사업에 있어서는 시설용량에 대해서는 9개의 도시가, 관거에 대해서는 5개의 도시, 펌프장 설비(청천시)에 대해서는 8개의 도시에 대해 우선적으로 예산을 공급해야 한다는 결론에 도달하였다. 또한, 재해방지능력에서 유수지 용량에 대해서 11개 도시, 펌프장 설비(우천시)에 대해서 7개 도시, 하수도 인력에 대해서는 3개 도시에 대해 우선적으로 고려해야 한다는 것을 보여주고 있다.

또한, 유지관리에 관련된 B 카테고리 인자들에 대해서도 I과 IV 그룹을 대상으로 어느 부분에 예산의 지원이 필요한지에 대해 세부항목을 살펴보았으며, 결과는 Table 9와 같다.

Table 9에 따르면 유지관리에 있어서는 맨홀의 수

Table 9. The Cities in I and IV needs a bigger budget in B category

Manhole maintenance				Sewer maintenance				Technical employee									
Repair		Dredge		Repair		Dredge											
OB18	OB19	OB21	OB24	OB18	OB19	OB20	OB21	OB22	OB25	OB33	OB11	OB16	OB19	OB20	OB4	OB22	OB24
OB25	OB33	OB41		OB21	OB33	OB46	OB41	OB43	OB46		OB21	OB29	OB46		OB25	OB46	

리에 대해서는 7개 도시, 준설에 대해서는 6개 도시에 대해서 우선적인 배분이 필요하다는 결론을 보여준다. 또한, 하수관거에 있어서는 수리가 7개 도시, 준설도 7개 도시에 우선적인 예산배분이 필요하다는 것을 보여주며, 기술인력에 있어서는 5개 도시에 대해서 우선적인 고려가 필요하다는 것을 보여준다.

4. 결론 및 고찰

본 연구는 하수도 사업에 대해 평가하고자 수행능 지표를 이용하였다. 수행능 지표는 하수도 통계 2005에 기초하여 설정되었으며 크게 시설의 완비에 관한 카테고리(A 카테고리), 시설의 유지관리에 관한 카테고리(B 카테고리), 유지관리효율에 관한 카테고리(C 카테고리), 환경부하에 관한 카테고리(D 카테고리)으로 나누어졌다. 이들 각각의 인자들에 대해서 넓은 분포를 가져서 군집화가 잘 이루어지도록 점수를 부여하여 평균화하였다. 이후 각 그룹의 평균점수를 바탕으로 CCC인자와 R-square를 이용하여 적정군집수를 5개로 정하여 k-평균 군집이 되었으며, 각각 I, II, III, IV와 V의 번호가 부여되었으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 시설의 완비율을 나타내는 A 카테고리 인자에 있어서 I, II, III그룹에 있어서는 시설의 완비가 잘 갖추어 졌으며, IV와 V에 대해서는 상대적으로 시설의 완비가 부족한 것으로 나타났다.

둘째, IV, V군집에 대해서 하수도 보급률, 하수관거보급율, 펌프장, 우수지 용량 및 펌핑 능력, 하수도 사업의 인력에 대해서 인자점수를 확인하여 우선적으로 예산지원이 필요한 사업체를 Table 8과 같이 확인할 수 있었다.

셋째, 유지관리에 관한 B 카테고리 인자에 있어서는 II, III, V군집에 있어서는 관리가 잘되고 있는 것으로 나타났지만, I, IV군집에서는 관리가 상대적으로 부족한 것으로 나타났다.

넷째, I, IV군집을 대상으로 맨홀의 관리, 하수관거의 관리, 기술인력의 보유 등에 대한 B 카테고리 인자에 대한 세부인자들을 확인하여 우선적으로 지원이 필요한 사업체를 Table 9와 같이 확인할 수 있었다.

다섯째, 유지관리의 효율에 대한 C 카테고리 인자들에 대해서는 모든 그룹에서 전반적으로 우수한 것으로 나타났으며, 환경부하에 관한 D 카테고리 인자들에 대해서는 I, II그룹에 있어서는 환경부하가 적은 것으로 나왔으며, III, IV, V그룹에 있어서는 보통 수준으로 나타났다.

본 연구를 수행함에 있어서 고찰할 사항은 수행능 지표의 점수화에 있어서 일률적인 기준으로 분석이 이루어졌기 때문에 각각의 하수도사업체의 예외사항에 대해서 공정하게 평가가 이루어졌다고 할 수 없다. 따라서 각각의 사업체 특성에 대한 연구가 더욱 필요하다. 또한 앞으로도 이러한 연구를 경년적으로 실시하게 되면 수행능 지표를 이용한 하수도 사업의 계획수립 및 예산배분 등의 문제에 있어서 큰 도움이 될 것이라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김기영, 전명식(1998) SAS 군집분석, 자유아카데미, 서울.
- 유동선(2000) 통계학 해법대사전, 교우사, 서울.
- 이양재, 조계성, 신동호 (1995) 도시기반시설수준의 평가와 공급기준설정에 관한 연구, 한국지역개발학회지, 6/7(1), pp. 43-71
- 환경부(2005) 환경백서 2005.

5. 환경부(2005) *하수도 통계 2005*.
6. 황영우, 류태창 (2005) 도시간 기반시설 수준평가분석에 관한 연구: 부산시 자매도시를 중심으로, *국토연구*, **44**, pp. 51-70.
7. Bertrand-Krajewski, J.L. and Barraud, J.P. (2002) Uncertainties, performance indicators and decision aid applied to stormwater facilities, *Urban Water*, **4**, pp. 163-179.
8. Christine, J. (2000) Environmental performance evaluation and indicators, *Journal of Cleaner Production*, **8**, pp. 79-88.
9. Coulibaly, H.D. and Rodriguez, M.J. (2004) Development of performance indicators for small Quebec drinking water utilities, *Journal of Environmental Management*, **73**, pp. 243-255.
10. Refaela, M., Adriana, C. and Ricardo, A. (2003) *Performance indicators for wastewater services*, IWA publishing, Cornwall, UK.
11. Richard, A., Peter, H. (2002) Sewer systems and performance indicators- into the 21st century, *Urban Water*, **4**, pp. 123-135.
12. SAS institute (1992) *SAS Technical Report A-108 Cubic Clustering Criterion*, SAS institute, North Carolina 27513, USA.
13. Vivian, W.Y., Tam, C.M., Zeng, S.X. and Chan, K.K. (2005) Environmental performance measurement indicators in construction, *Building and Environmental*, **41**(2), pp. 1-10.