

시스템사고에 기반한 상수도 효율성 개선에 관한 연구: 충청북도를 중심으로*

A study on the improvement of efficiency for waterworks on the basis
of the accidents in the system by setting the example of
Chungcheongbuk-do

김나윤** · 김선덕*** · 이만형****

Kim, Na-Yoon · Kim, Sun-Duck · Lee, Man-Hyung

Abstract

The service for waterworks is important infrastructure structuring the cities and the public properties affecting the health and the abundant lives of the residents at the same time. However, the waterworks project still has many problems in reality in spite of the continuous efforts from the nation, local governments and many related people in waterworks projects. From the aspect of the situation, this purpose of this study is to review the actual operation state and the operation principle on the basis of the accidents in the system and to suggest the policy leverages for accurate diagnosis of the waterworks project and for the efficient operation. The operation structure of the service for waterworks is the complicated system showing the overlapped forms of the relation with other various factors. Moreover, as this has been influenced by other external environments, it has flexible features that can be changed by unexpected factors even if the internally close causality has been established. The domestic local operation of waterworks have been divided by an administrative district and it causes inefficiency in the aspect of the country and the local government with small sized of budget faces the insufficient investments. These phenomena have been shown in some small sized areas located in Chungcheongbuk-do and, making a realistic suggestion by the related local government to improve the waterworks operation project is urgent. For this reason, this study is to lead the policy leverages to increase the efficiency of the service for waterworks and to stabilize the structure of virtuous circle in the system. At first, the reformation of the waterworks structure should be performed after the various supports and system

* 이 논문은 2014년 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

** 충북대학교 도시공학과 석사과정 (제1저자, nayoon4370@naver.com)

*** 충북대학교 대학원 환경·도시·화학공학부 박사수료 (제2저자, sinbe0228@naver.com)

**** 충북대학교 도시공학과 교수 (교신저자, manlee@chungbuk.ac.kr)

maintenance. At second, the service quality should be improved through the creativity in management and the consideration of the efficiency by the participation of private enterprises for waterworks service. At third, through the specialized waterworks operation, the quality improvement of the waterworks and satisfying the standard of natural environment should be related. In this context, the fundamental solutions for the problems of domestic waterworks service and finding realistic alternatives are considered to be the priority for the waterworks project to be operated efficiently.

Keywords: 시스템다이나믹스, 상수도 서비스, 충청북도
(System Dynamics, Waterworks Services, Chungcheongbukdo)

I. 서론

상수도 사업은 실생활에 필수적인 요소로 자리 잡고 있으며, 경제발전과 생활수준 향상에 따른 수요 증대와 더불어 급속히 확대되었다. 국가는 상수도 서비스를 효율적으로 운영하기 위해 지속적으로 노력하고 있으며, 수도사업자는 수돗물을 값싸고 안전하게 공급하기 위해 노력하고 있다. 하지만, 국가와 수도사업자의 지속적인 노력에도 불구하고 우리나라 상수도 사업은 크게 3가지 측면의 문제점을 안고 있다.

첫째, 운영적 측면의 문제점은 지방 공기업 형태로 상수도 사업이 운영되므로 소규모 운영 단위에 의한 비효율성 등의 문제점을 야기 시킨다. 이는 지방 상수도 사업의 재정능력을 저하시켜 재정적자가 발생하면 상수도 서비스 품질 저하와 더불어 노후시설에 대한 투자를 감소, 유수율 저하까지 이어진다. 이러한 현상은 재정상황이 악화되는 악순환의 원인이 된다.

둘째, 구조적 측면의 문제점은 광역상수도와 지방상수도가 함께 운영되는 지역은 지역 전체의 물 수요를 고려하여 생산 및 분배에 대한 협의를 통해 상수도 시설을 확충하여야 한다. 그러나 독자적인 계획에 따른 시설확장은 생산시설에 대한 중복투자를 야기 시킨다. 이는 운영효율을 저하시킬 뿐만 아니라 지방 상수도의 요금 수준의 상당한 격차를 발생시키는 원인으로 작용 한다.

셋째, 전문성 측면의 문제점이 있다. 지방상수도에 근무하는 인력은 짧은 임기 동안 근무를 하기 때문에 전문 인력 육성이나 전문기술 축적이 거의 불가능한 실정이다(김규리, 2011). 그러므로 5년 이상 근무한 실무자가 적고, 지자체장이 투자 및 사업운영 등 주요사항에 대한 결정을 내리는 책임 경영에 한계가 있어 문제가 발생할 수 있다.

이렇듯 우리나라 대표적인 공공재인 상수도 서비스는 공공서비스 차원에서 정부를 중심으로 유지 및 발전되어 왔다. 그러나 지방상수도 사업은 노후화된 설비와 전문 기술력이 미흡한 현실 속에서 한정된 재원을 바탕으로 운영되고 있는 실정이고 이러한 이유들로 인하여 운영상 다수의 문제점들이 나타나고 있다. 따라서 상수도 사업의 전반적인 운영 원리와 시스템 구조를 살펴보고 이로 인해 파생되는 운영상의 구조적 모순과 비효율, 문제점을 수정·보완하기 위한 실체적인 대안에 대한 논의들이 필요한 시점이다.

이에 본 연구의 목적을 정리하자면 다음과 같다. 첫째, 상수도 사업에 적합한 정책을 수립하기 위하여 상수도 서비스의 운영 및 유지에 필요한 요소들 간의 상호관계를 파악한다. 둘째, 앞서 연구한 내용을 기반으로 상수도 시스템의 운영 및 유지관리 요소를 구조화하여 변수 상호 간의 인과관계를 규명하고 상수도 사업의 선순환적 인과관계를 정립하고자 한다. 마지막으로 연구 결과를 바탕으로 상수도 서비스의 효율적 운용을 위한 정책적 제언

및 지렛대를 제공하는데 연구의 목적을 두고 있다.

II. 상수도 서비스에 대한 이론적 논의

1. 상수도 서비스 정의 및 현황

상수도는 하수도와 구분하기 위하여 사용하는 용어로 일반적으로는 수도라고 부른다. 상수도는 용도에 따라 일반수도와 공업용수도, 전용수도로 구분되는데 일반수도는 지방자치단체가 지역 주민 및 상업시설에 정수를 공급하는 지방상수도과 소규모 급수 인구에 정수를 공급하는 마을상수도로 구성되어 있다. 일반적으로 우리의 실생활에서 접하고 있는 수도는 지방상수도를 의미한다. 반면, 공업용수도는 한국수자원공사와 지방자치단체가 공급하는 수도로 공업용에 맞게 처리한 정수를 의미하고, 산업구조의 고도화에 따라 공업용 수도의 중요도가 높아지고 있는 실정이다. 전용상수도는 특정 시설에 공급되는 수도를 의미한다.

〈표 1〉 국내 상수도현황 (2007~2014)

연 도	시설용량 (천 ^m ³ /일)	급수량 (천 ^m ³ /일)	급수 인구 (천명)	1일 1인당 급수량(L)	상수도 보급률(%)
2007	28,455	15,657	46,057	340	92.1
2008	30,571	15,858	46,733	337	92.7
2009	31,416	15,696	47,336	332	93.5
2010	30,936	16,104	48,395	333	94.1
2011	30,944	16,398	48,938	335	94.6
2012	29,959	16,359	49,354	332	95.1
2013	29,941	16,734	49,910	335	95.7
2014	27,141	17,025	52,373	335	98.6

자료 : 2015년 상수도통계연보, 환경부

2014년을 기준으로 우리나라 수도보급률은 98.6%이며, 2014년 국내 1일 1인당 급수량은 335L로 전년도의 335L와 일치하며 최근 10년간 연평균 증감률은 0.92%로 나타나고 있다.

2. 충청북도 상수도 서비스 운용실태 검토

2013년 말 충북의 급수 인구는 1,422천여 명으로 급수 보급률은 97.1%로 전국 평균 급수 보급률 98.5%보다 1.4% 낮은 수준에 그치고 있다. 이는 도내 급수 취약지역¹⁾이 다른 도에 비해 많음을 뜻하며, 주민들이 수질 및 공급의 안정성이 낮은 수도물을 이용하고 있음을 의미한다.

유수율²⁾이란 생산된 물의 총 생산량과 급·배수관에서 누수 등으로 유실된 양을 제외한 실제 유용하게 이용된 물의 양을 비교한 것이며(이일형, 2014), 충북의 유수율은 83.4%로 전국 유수율에 비해 0.8% 낮은 수준이다. 충북의 경우 전국과 비교했을 때, 유수율이 전국 유수율에 비해 낮은 것으로 보아 상수도 사업이 비효율적으로 운영되고 있음을 의미한다. 요금현실화율은 생산원가에 따른 요금이 차지하는 비율을 뜻하며, 충북의 요금현실화율은

〈표 2〉 충북 도내 시·군 상수도 주요 지표(2014년 기준)

	인구		1인1일 급수량	유수율 (%)	평균단가 (원/m ³)	생산원가 (원/m ³)	요금 현실화율 (%)
	전체(명)	급수 인구 (급수 보급률)					
전국	52,127,386	51,084,838 (98.5)	335	84.2	660.4	849.3	77.8
충북	1,600,213	1,422,225 (97.1)	419	83.4	698.1	936.4	74.6
청주	679,302	676,024 (99.9)	412	89.1	563.9	528.0	106.8
충주	211,383	188,071 (96.0)	361	81.8	764.9	966.1	79.2
제천	138,629	125,453 (97.8)	304	84.6	783.2	1,239.0	63.2
청원	158,365	114,762 (92.0)	603	84.6	959.8	918.6	104.5
보은	34,725	16,174 (93.4)	389	60.5	526.6	1,145.0	46.0
옥천	53,468	44,774 (100.0)	381	57.4	864.9	1,912.0	45.2
영동	51,071	38,924 (99.9)	443	60.6	759.5	1,837.0	41.3
증평	35,035	34,520 (99.8)	361	78.8	1,037.3	1,182.0	87.8
진천	68,218	54,257 (87.6)	509	85.0	874.2	1,321.7	66.1
괴산	38,675	21,917 (89.8)	467	53.2	950.6	3,292.0	28.9
음성	99,952	84,916 (94.1)	472	76.8	682.2	1,337.0	51.0
단양	31,390	22,433 (99.5)	472	79.3	833.3	2,267.1	36.8

자료 : 2015년 상수도통계연보, 환경부

- 1) 급수취약지역은 상대적으로 수질관리가 미흡하므로, 오염된 수도물 공급으로 인한 주민건강우려, 잦은 단수 사고 등 서비스의 불평등 가중 등의 문제를 야기할 수 있음
- 2) 유수율이 높다는 것은 누수되는 수도물의 양이 적어 생산량을 줄일 수 있으며, 이에 따른 유지관리비(약품비, 원수구입비, 동력비 등)가 절감됨으로서 상수도의 경영효율성이 높음을 의미함

74.6%로 나타났다. 전국의 요금현실화율은 충북에 비해 3.2% 높으며, 청주와 보은, 음성을 제외한 나머지 지역의 평균단가는 전국 평균단가에 비해 높은 것으로 나타나고 있다.

청주와 청원을 제외한 나머지 지역의 평균단가는 생산원가에 미치지 못하고 있는 실정이며 생산원가에도 미치지 못하는 수도요금만 안전하고 깨끗한 물을 유지하기 위한 근본적인 관리와 투자가 부족함을 뜻한다. 이러한 현상은 상수도 서비스의 질을 감소시키는 결과를 초래하며, 노후관 파열로 인한 수도물 공급 중단, 오폐수 유출의 문제발생 등 주민들에게 불편을 초래할 수 있다.

3. 선행연구검토

본 연구를 수행하기에 앞서 상수도 서비스 운영을 대상으로 한 관련 선행연구들을 검토하였다. 국내 주요 연구로는 유지연(2014), 김상문(2012), 유금록(2013) 등이 있으며, 매년 상수도 서비스 운영에 관련된 다수의 연구가 진행되고 있다.

먼저, 유지연(2014)은 위탁 및 직영 수도사업장을 대상으로 DEA 패널토빗 분석을 수행하였다. 연구결과 검토해보면 위탁운영으로 인해 상수도 사업의 효율성이 개선될 것이며, 적절한 관리 감독 규제가 필요하다는 결과를 주지하였다. 이 연구는 종속변수로 비용효율성, 독립변수로 운영유형을 설정하였고, 통제변수로 급수 인구, 재정자립도, 요금현실화율, 조직규모, 2008년 금융위기, 시간더미변수를 사용하였다. 김상문(2012)은 위탁 및 직영 수도사업장을 대상으로 확률프런티어(SFA)분석을 수행하였으며 연구결과 일부 지방상수도에서 도입·운영 하고 있는 위탁운영은 수도사업 운영 효율화 관점에서 긍정적인 효과를 보이고 있다고 평가하였다. 이 연구는 위탁운영을 통하여 달성하고자 한 최우선 목적의 관점으로 우수율을 종속변수로 설정 하였고, 설명변수 기본적으로 고려되는 노동과 자본, 운영비로 설정하였다. 기술적 비효율성 변수는 종속변수의 영향관계 관점에서 가구당 관망길이, GIS관리율, 관망경년, 시간으로 설정하였다. 유금록(2013)은 우리나라 기초단체의 105개의 지방상수도를 대상으로 방향거리함수 모형을 이용하여 연구를 수행하였다. 연구결과 규모 수익체증(IRS)영역에서 운영되고 있는 상수도공기업의 운영규모를 확대하는 한편, 규모수익체감(DRS)영역에서 운영되고 있는 상수도 공기업의 운영규모를 축소해야 한다는 연구결과를 도출하였다. 이 연구는 투입요소로 노동, 자본을 사용하였고, 산출물로서 수도관연장, 급수전수, 조정량, 요금현실화율을 설정하였다.

앞선 선행연구들을 종합적으로 검토한 결과 상수도 서비스의 운영 효율성 진단과 개선에 대한 연구들은 투입과 산출량 관계에 근거하여 정량적으로 수치화된 형태의 연구가 대부분을 차지하고 있었다. 같은 맥락으로 상수도 서비스에 관한 연구는 대부분 자료포락분

〈표 3〉 선행연구 요약

선행연구	연구내용	연구방법	연구결과
유지연 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • 대상 : 위탁 및 직영 수도사업장 • 종속변수 : 비용효율성 • 독립변수 : 운영유형 • 통제변수 : 급수 인구, 재정자립도, 요금 현실화율, 조직규모, 2008년 금융위기 	DEA 패널토빗 분석	위탁운영을 하면 효율성이 개선될 것이며, 적절한 관리 감독규제가 필요
김상문 (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • 대상 : 위탁 및 직영 수도사업장 • 종속변수 : 유수율 • 설명변수 : 노동과 자본, 운영비 • 기술적 비효율성 변수 : 가구당 관망길이, GIS관리율, 관망경년, 시간 	확률 프런티어 (SFA)분석	일부 지방상수도에서 도입·운영 하고 있는 위탁운영은 수도 사업 운영효율화관점에서 긍정적인 효과를 보이고 있음
유금록 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • 대상 : 우리나라 기초단체의 105개의 지방상수도 • 투입요소 : 노동, 자본 • 산출요소 : 수도관연장, 급수전수, 조정량, 요금현실화율 	방향거리 함수모형	규모수익체증영역에서 운영되고 있는 상수도공기기업의 운영 규모를 확대하는 한편, 규모수익체감영역에서 운영되고 있는 상수도 공기기업의 운영규모를 축소

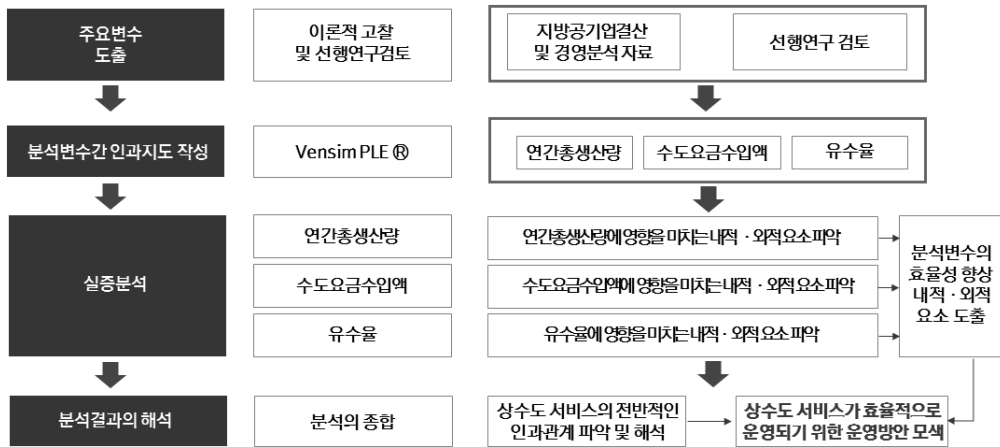
석(DEA)을 활용하여 효율성과 생산성에 초점이 맞춰진 연구가 주를 이루고 있다. 그러나 상수도사업의 내부적 구성 요소들 간 상호 유기적 관계의 규명과 사업의 운영원리와 구조적 특성을 탐색한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 단순하게 정량적인 결과값만을 산출하여 설명하던 기존 선행연구에 탈피하여 상수도 서비스가 효율적으로 운영되기 위한 구성 요소들의 상호 인과관계와 운영원리를 파악하였다. 이러한 인과관계 분석결과에 근거하여 실효적인 정책적 제언과 더불어 정책지렛대를 제공하는데 초점을 두고 연구를 수행하였다.

III. 분석의 틀

1. 연구의 절차

본 연구는 주요변수 도출, 분석변수 간 인과지도 작성, 실증분석, 분석결과의 해석과 같이 크게 4가지 틀에 기초하여 순차적으로 연구를 수행하였으며 세부적인 연구 수행 절차는 아래와 같다.



[그림 1] 연구의 절차

첫 번째 단계로, 주요변수를 도출하기 위하여 상수도 사업과 연관된 지방공기업 결산 및 경영자료분석과 관련 선행연구 검토를 하였으며 이를 기반으로 두 번째 단계인 시스템사고를 통한 인과지도를 작성한다. 각 분석변수들 간의 인과관계를 파악하고 요소들 간의 관계가 양(+)의 관계인지 음(-)의 관계인지 정의한다. 또한 상수도 서비스의 결과물로 나타낼 수 있는 연간총생산량과, 수도요금 수입액, 유수율에 대한 세부적인 인과지도를 작성하였다. 이는 상수도 서비스의 성과를 극대화할 수 있는 세부 요소들 간의 관계를 알아보기 위함이다. 세 번째 단계로, 연간총생산량, 수도요금 수입액, 유수율과 관련된 각각의 인과지도를 통해 상수도 서비스가 미치는 내적 요인과 외적요인 파악 하고, 이를 통합하여 상수도 서비스의 전반적인 인과지도를 작성한다.

2. 상수도 서비스에 대한 인과지도

대표적인 공공재인 상수도 서비스는 공공서비스 차원에서 정부를 중심으로 유지 및 발전되어 왔으며, 지방자치단체는 한정된 재원을 바탕으로 수도 사업을 운영하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 본 연구에서는 상수도 서비스의 효율성에 미치는 요소들을 탐색하고 그들 사이의 관계를 구조화 하였다. 효율성에 미치는 일부 요소들을 선정하기 위해 앞서 검토한 선행연구와 더불어 행정자치부에서 매년 발간하는 지방공기업결산 및 경영분석 자료를 검토하였다. 이를 통해 효율성을 도출하기 위한 적합한 요소들의 집합을 가능하게 하였다.

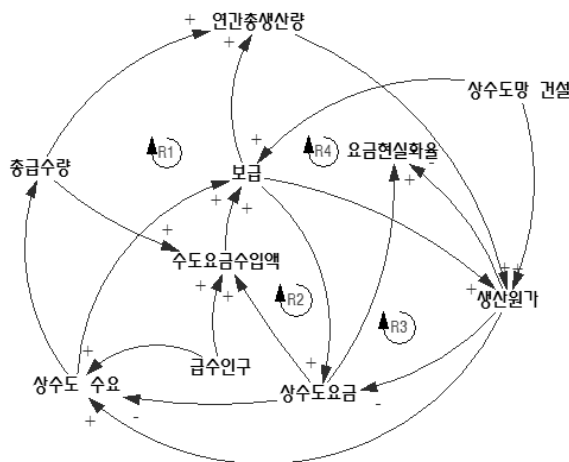
〈표 4〉 효율성 측정을 위한 변수 집합

효율성 측정을 위한 변수 집합
인건비, 물건비, 감가상각비, 자본비율, 영업비율, 영업의 비용, 시설용량, 직원수, 순가동설비자산, 총 세출, 수도관리연장, 급수 인구, 생산량, 급수량, 조정량, 안정성비율, 유수율, 수익성비율, 시설이용률, 영업이익, 총세입, 급수전수, 수도관연장

효율성은 투입한 자원 또는 노력 대비 성과의 비율을 의미하는 바, 본 연구는 상수도 서비스의 성과를 나타낼 수 있는 경제적 변수와 계량적 변수를 선정하여 세부적인 인과지도를 작성한 뒤 종합적인 상수도 서비스에 대한 인과지도를 작성 하였다. 이는 상수도 서비스가 합리적으로 이루어 졌는지에 대한 여부와 경영효율성에 미치는 요소들 간의 관계를 세부적으로 알아보기 위함이다. 또한 경제적 요소인 총수입액, 효율적 운영여부를 계량적으로 나타내는 연간총생산량과 유수율을 선정하여 각 변수들 간의 인과지도를 작성하고 살펴 보았다. 이를 통해 상수도 서비스에 대한 인과지도를 작성하기 전 성과를 극대화할 수 있는 경제적 요소와 효율적 운영에 관한 요소들을 파악하고 요소들 간의 관계를 알아보기 위함이다.

1) 연간총생산량

본 연구에서 모델링한 상수도 시스템의 연간총생산량 관련 피드백 루프는 [그림 2]와 같다. [그림 2]에는 연간총생산량과 관련된 다양한 피드백 인과관계가 존재하고 있다.

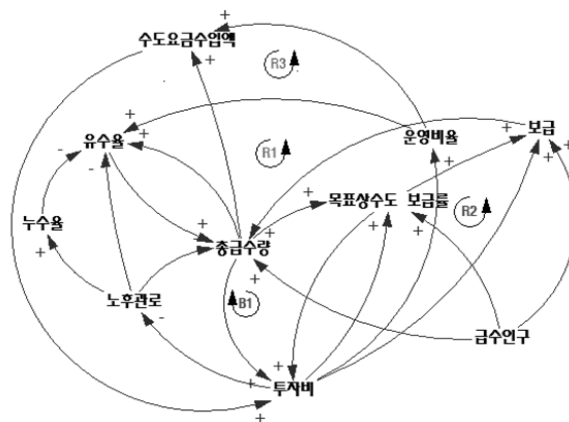


[그림 2] 연간총생산량 인과지도

위 [그림 2]를 통해 연간총생산량과 상수도 서비스의 경제적 요소들과의 인과관계를 파악하였다. 다음과 같이 4개의 양의 피드백 루프가 구성됨을 확인 할 수 있었다. R1은 총급수량이 증가하면, 총생산량이 증가하고, 생산원가는 감소하여 상수도 요금에 영향을 미치고 있음을 의미한다. 이는 총생산량이 수도요금 형성에 영향을 미치고 있는 과정을 보여 줌과 동시에 수요 공급의 법칙이 성립하고 있음을 나타낸다. R2의 경우 연간총생산량 확대 로 인해 상수도요금의 수입액이 증가하면 상수도 시설의 보급도 점차 증가함을 확인할 수 있다. 이는 상수도요금의 수입액 증가는 시설설치 투자와 보급률 확대에 영향을 미치고 있음을 의미한다. R3는 연간총생산량 증가로 인해 상수도 시설의 보급이 확대됨을 나타내고 있는데 이는 상수도 가격 형성에 직접적인 영향을 주고 있음을 의미한다. R4는 연간총생산량의 증가가 상수도 가격형성과 직접적인 관계를 형성하고 있음을 나타내며, 수도요금 수입액은 상수도 시설보급에 영향을 미친다. 이는 연간총생산량이 상수도 서비스의 경제적 요소들에 직접적 관여하고 있음을 시사한다.

2) 수도요금수입액

[그림 3]은 상수도 시스템의 수도요금수입액과 관련한 피드백 루프를 나타낸 그림이다. 상수도 서비스의 수도요금수입액과 관련된 여러 가지 피드백 인과관계가 존재하고 있다(이태근,2012). 이들 중 유수율과 누수율과 같은 상수도 서비스의 효율성 지표와 보급률, 급수인구 간의 관계를 중심으로 나타내면 다음과 같다.



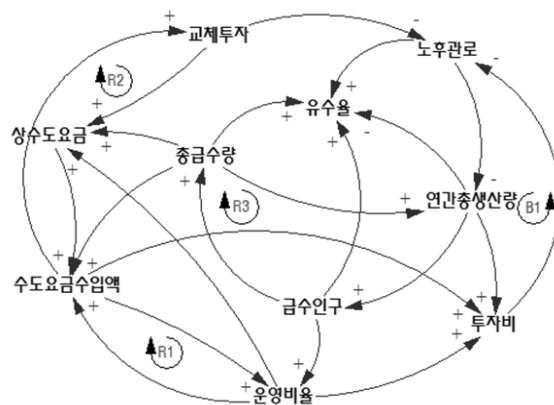
[그림 3] 수도요금수입액 관련 인과지도

위 [그림 3]을 통해 수도요금수입액과 상수도 서비스의 효율성을 가시화할 수 있는 요소

들과의 인과관계를 파악하였다. 보이는 바와 같이 3개의 양의 피드백 루프와 1개의 음의 피드백 루프가 형성됨을 확인할 수 있다. R1은 총 급수량 증가로 인한 투자비 증가는 상수도 서비스의 운영비율에 영향을 준다. 운영비율 향상은 상수도 서비스의 효율성을 가시화할 수 있는 유수율 향상에 영향을 주고, 투자비 증가를 통한 운영비율 향상, 유수율 향상은 수도요금수입액에 긍정적인 영향을 준다. R2의 총 급수량 증가는 투자비를 증가시키고 상수도 서비스의 보급이 확대되는데 긍정적인 영향을 미친다. 이는 상수도 서비스의 보급 확대가 운영비율 향상에도 영향을 미치며, 수도요금수입액이 증가하는데 직접적인 영향을 주고 있음을 의미한다. R3은 운영비율의 증가와 수도요금수입액의 관계를 나타낸다. 상수도 급수량이 증가하면 목표상수도 보급률이 상승하고 투자비용증가, 노후관로는 감소한다. 충북 도내 소규모지역의 상수도 서비스는 상수도의 급수량이 증가하지만, 인구가 적어 재정적 어려움을 겪고 있으며, 노후관로가 감소하는 운영구조가 나타나고 있지 않은 실정이다. 그러므로 B1은 음의 피드백 루프로 정의하였다. 수도요금수입액은 수요와 공급의 균형을 유지하는데 영향을 미치며, 실제 상수도 서비스의 운영시설 현황에 의해 직접적인 영향을 받고 있다.

3) 유수율

아래 [그림 4]는 상수도 시스템의 유수율 관련 피드백 루프를 나타낸 그림이다. 상수도 서비스의 유수율과 관련된 여러 가지 피드백 인과관계가 존재하고 있으며, 이들 중 상수도 서비스의 운영비율, 수도요금수입액 간의 관계를 중심으로 설명하면 다음과 같다.



[그림 4] 유수율 관련 인과지도

위 [그림 4]를 통해 유수율과 상수도 서비스의 총 급수량, 운영비율등과의 인과관계를 파악하였다. 보이는 바와 같이 3개의 양의 피드백 루프와 1개의 음의 피드백 루프가 형성됨을 확인할 수 있다. R1은 수도요금수입액과 운영비율의 관계이다. 운영비율향상과 수도요금수입액은 상수도 서비스의 투자와 직접적인 상관관계가 있으며, 이는 유수율 향상에도 직접적으로 영향이 있음을 나타낸다. R2는 상수도요금 수입액이 시설 교체 및 보수, 보급에 대한 투자를 가중시키고 있음을 나타내고 있다. 상수도 시설의 보수 및 교체는 상수도 서비스의 효율성을 향상시키는데 중요한 영향을 미치며, 이는 유수율 향상에도 긍정적인 영향을 준다. R3은 총 급수량 증가가 상수도 시설에 대한 투자를 증가시키는 것을 나타내며, 상수도 서비스에 대한 투자가 증가할수록 노후관로가 감소하고 이는 운영비율에 긍정적인 영향을 준다. 또한 운영비율 확대는 유수율 향상에 직접적인 영향을 준다.

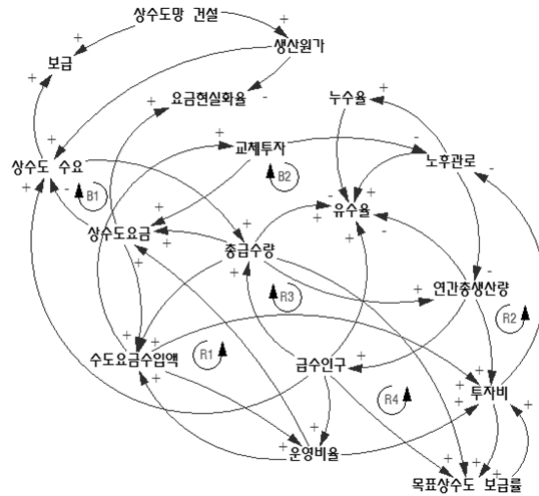
연간총생산량이 증가하면 상수도 서비스에 대한 투자가 증가하고 노후관로는 감소하는 관계가 나타난다. 그러나 충청북도 도내 소규모지역의 작은 상수도 시설은 시설 교체 및 보수에 대한 투자가 적다. 이는 충북 도내 상수도 서비스의 효율성을 감소시키는 원인 중 한가지이므로, 음의 피드백 루프 B1으로 정의하였다. 유수율³⁾은 물소비량과 더불어 총생산량의 영향을 받는다. 유수율과 운영비율은 상수도 서비스의 효율적 운영을 판단할 수 있는 지표이며, 연간총생산량, 수도요금 수입액은 경제적 산출물 측면의 지표이다. 이들 지표 변화는 상수도 서비스가 효율적으로 운영되었을 때, 경제적 산출물을 극대화 하여 상수도 서비스의 효율적 운용을 가능하게 하고 있음을 확인 할 수 있다.

IV. 분석결과

1. 분석내용

앞서 분석한 인과관계를 통합하여 전체적인 상수도 서비스에 대한 피드백 루프를 확인하였다. 상수도 서비스의 운영구조는 크게 경제적 측면, 효율성 측면, 운영적 측면에서 동태적으로 연결되어 있다. 즉, 수도사업은 다양한 요소들과의 관계들이 중첩되는 행태를 보이는 복잡한 시스템을 형성한다. [그림 5]는 상수도 서비스의 전체적인 인과지도를 나타낸 것으로, 상수도 서비스 운영구조는 다양한 변수들이 복합적으로 연결되어 있으며, 이를 경제적 요소, 효율성 요소, 운영적 요소를 검토하여 작성하였다.

3) 유수율 = $\frac{\text{물소비량}}{\text{총생산량}} \times 100(\%)$



[그림 5] 상수도 서비스 인과지도

[그림 5]의 상수도 서비스 인과지도를 통해 상수도 서비스가 효율적으로 운영될 수 있는 중요한 피드백들의 연결 구조를 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

<표 5> 상수도 서비스 피드백 루프

구분	인과지도	요약
<p>R1 운영활성화 루프</p>		<ul style="list-style-type: none"> 상수도 서비스의 운영활성화가 수도요금형성에 영향을 미치며, 더불어 수도요금수입액은 또다시 운영비용에 영향을 미치는 양의 피드백 루프의 형태가 나타남
<p>R2 연간총생산량 루프</p>		<ul style="list-style-type: none"> 연간총생산량에 따른 투자비용 증가는 노후관로 감소에 영향을 미치며, 이는 상수도 효율성 향상에 긍정적인 효과를 나타내므로 양의 피드백 루프로 정의 R1과 R2는 상수도 서비스의 운영활성화에 긍정적인 영향을 미치는 구조를 나타내고 있음

구분	인과지도	요약
<p>R3 급수인구 루프</p>		<ul style="list-style-type: none"> 급수 인구에 따른 연간총생산량의 관계를 나타냄 급수 인구는 상수도 수요에 대한 지표를 나타내며, 이는 수요와 공급의 법칙이 성립함을 보여줌
<p>R4 급수인구와 운영비율간의 상관성 루프</p>		<ul style="list-style-type: none"> 급수 인구에 따른 운영비율의 관계를 보여줌 더불어 운영비율 향상을 상수도 서비스에 대한 투자 확대, 상수도 시설 보수와 직결되며, 상수도 서비스의 효율적 운영실태와 직접적인 관계가 있음
<p>B1 비효율적 운영에 따른 수도요금 루프</p>		<ul style="list-style-type: none"> 수요가 증가하면, 공급도 증가하지만, 상수도 서비스가 비효율적으로 운영되는 상황에서는 수도요금에 대한 증감여부는 예측할 수 없음 상수도는 공공재이므로, 다른 일반 재화와 다른 가격형성구조를 나타냄
<p>B2</p>		<ul style="list-style-type: none"> 급수 인구에 따른 총 급수량과 수도요금 수입액의 관계를 나타냄 더불어 수도요금 수입액의 증가는 상수도 서비스에 대한 투자 증가로 노후관로가 감소하고 연간총생산량과 직접적인 관계가 있음 그러나, 충북 도내 소규모지역은 인구규모가 적고, 적은 상수도요금수입액으로 노후시설 교체에 투자를 하더라도 일정 기대치 이상의 효과를 얻지 못하고 있는 실정이므로, 음의 피드백 루프로 정의함

다음과 같이 4개의 양(+)의 피드백 루프와 2개의 음(-)의 피드백 루프가 형성됨을 확인할 수 있다. 먼저, 양의 피드백 루프 R1은 운영활성화가 수도요금에 미치는 영향, R2는 연간총생산량에 따른 투자비용증가와 노후관로 감소의 관계를 보여준다. 양의 피드백 루프 R1과 R2는 상수도 서비스의 운영활성화가 미치는 영향을 보여주고 있다. 충북은 광역상수도와 지방상수도가 함께 운영되는 청주시와 충주시의 상수도 서비스의 효율성은 높지만, 그 외 소규모 지역의 상수도 서비스의 효율성은 낮은 실정이다. R3는 급수 인구에 따른 생산량의 관계, R4는 급수 인구에 따른 운영비율과 운영실태의 관계를 확인할 수 있다. 급수 인구는 상수도 수요를 의미하며, 이를 R3와 R4의 피드백 루프를 통해 수요와 공급의 법칙이 성립하나, 상수도는 공공재이므로 일반재화와는 다른 성질이 있음을 알 수 있다. 충북은 인구밀도가 높은 지역의 상수도 보급률은 높으며, 상수도 효율성도 높은 편이다. 반면, 일부 소규모 도시의 상수도 효율성은 낮은 수준에 머무르고 있다. 이러한 시점에서 충북 옥천군의 경우 인구가 지속적으로 감소하는 추세이나, 이와 상반되게 과도한 주택의 공급과 함께 상수도 보급도 졸속하게 이루어졌다. 그 결과 보급된 상수도 시설의 규모에 비해 인구는 부족한 상황을 초래하였으며 상수도 시설이 효율적으로 운영되지 못하는 실정을 야기하였다.

B1은 상수도에 대한 수요가 증가하여 상수도 시설의 공급은 증가하였으나, 비효율적 운영에 의한 수도요금 향상으로 인한 피드백 루프이다. 이는 적은 인구규모라 할지라도 상수도에 대한 수요는 있으나, 총급수량은 대규모 지역에 비해 터무니없이 적은 실정므로 상수도 요금이 부담되는 상황이 발생시킬 수 있기에 음의 피드백 루프라 정의하였다. B2는 급수 인구증가에 따른 수도요금 수입액으로 인한 상수도 시설 보급 및 시설교체와 노후관로 감소가 연간총생산량에 영향을 미치는 피드백 루프이다. 이는 적은 인구규모로 인한 적은 상수도요금 수입액으로 노후시설 교체에 투자를 할지라도 일정기대치 이상의 효과를 얻지 못할 수 있으므로 음의 피드백 루프라 정의하였다.

V. 결론 : 정책지렛대 전략

국가는 상수도 사업이 효율적으로 운영될 수 있도록 지속적으로 노력해 오고 있으며, 상수도사업자들은 수돗물을 값싸고 안전하게 공급하기 위해 노력해 오고 있다. 그러나 국가와 수도사업자들의 지속적인 노력에도 불구하고 우리나라 상수도 사업은 다양한 문제점을 안고 있다. 본 연구는 충청북도의 상수도 사업의 운영원리와 운영실태를 시스템 사고에 기초하여 구조적으로 살펴 본 뒤, 상수도 사업의 효율적인 운영을 위한 정책적 지렛대를 제

연합에 연구의 목적을 가진다. 연구를 진행하기에 앞서 충청북도의 상수도 사업시설 실태를 검토하고, 더불어 상수도 서비스와 관련된 선행연구를 살펴보았다. 이를 통해 상수도 사업이 효율적 연합에 있어 영향을 미치는 주요 요소를 선정하여 인과관계를 분석하였다. 상수도 서비스 성과를 계량적으로 나타낼 수 있는 경제적 요소를 주된 변수로 사용하여 구체적인 인과지도를 작성하였다. 경제적 요소로 수도요금수입액, 효율적 운영 여부를 나타내는 계량적 요소로 연간총생산량, 유수율을 주요 변수로 선정하여 세부 인과지도를 작성한 뒤 이를 통합하여 상수도 서비스 운영구조에 대한 인과지도를 작성하였다.

연구결과를 요약하자면 다음과 같다. 상수도 서비스 운영구조는 다양한 변수들이 복합적으로 연결되어 있으며, 상수도 서비스의 운영구조는 경제적 측면, 효율성 측면, 운영적 측면에서 상호 연결되어 있다. 즉, 수도사업은 다양한 요소들과의 관계들이 중첩되는 행태를 보이는 복잡한 시스템임을 의미한다. 더불어 외부 환경의 영향을 받으므로, 내부적으로 긴밀한 인과관계를 가지고 있더라도 예상치 못한 요인에 의해 변할 수 있는 특성을 가지고 있다. 국내 지방 상수도 운영은 행정구역별로 분할되어 있어 국가 차원의 비효율성을 야기시킨다. 이러한 국내 지방 상수도 운영의 문제점이 충북 내 규모가 일부 소규모 지역에도 보이고 있다. 또한 충청북도는 인구와 지역 실정 등 외부적 요소를 고려하지 않은 채 운영 중인 상수도 사업에 대한 문제점이 가시화되고 있는 실정이다. 충청북도의 상수도 서비스가 효율적으로 운영되기 위해서는 상수도의 경제적 측면, 효율성 측면, 운영적 측면에서 안정적으로 운영될 필요가 있다. 이는 해당 지자체는 상수도 사업개선을 위한 정책이 시급할 뿐만 아니라 국내 상수도 사업의 문제해결이 우선시 되어야 한다는 점을 시사한다.

상수도 서비스의 실질적인 효율성 향상을 유도하기 위하여 살펴본 인과지도를 통해 상수도 서비스의 효율적인 운영에 위한 정책지렛대는 다음과 같다.

우리나라는 광역 용수공급체계에 대한 기술력 확보, 세계적 IT기술 및 정보화 수준 확보 등 다양한 기술적 강점을 지니고 있으며, 이는 상수도 사업이 비교적 성공적으로 발전되고 있음을 알 수 있다. 이러한 국내의 높은 상수도 기술력을 바탕으로, 소규모 지역의 상수도 운영이 효율적으로 이루어 질 수 있도록 운영 구조 개편이 필요하다. 단순히 일부 국가에서 시도하고 있는 민간 위탁 방법을 시도하기 보다는 관련 제도 및 부작용 방지를 위한 대책 등 다각적인 지원과 제도 정비 후 지자체 단독, 지방공사, 민간위탁 등 효율적인 상수도 공급 구조 개편이 필요가 있다.

또한 상수도 전문화를 통해 상수도 서비스의 품질 개선 및 환경기준 충족의 연계가 필요하다. 일부 소규모 수도시설을 이용하는 주민들은 건강한 물을 공급 받지 못하며, 잦은 단수 사고 등으로 인한 상수도 서비스의 불평등이 발생하고 있다. 국내 상수도 사업은 잦은 보직변경 및 근무기피 현상 등 책임경영체제와 전문적인 기술력 확보가 어려운 실정으

로, 업무의 효율성, 전문성, 연속성 유지가 곤란하다. 이러한 운영구조의 문제점은 수면위로 떠올랐으며, 운영구조에 대한 해결이 시급하다. 민간 기업이 참여하고 있는 하수도 사업의 사례로 볼 때, 지방자치단체와 민간의 역할이 균형을 이루면 공공의 이익 증대에 기여할 것이고, 더불어 전문화로 인해 사업자간의 경쟁 촉진될 것이다. 이를 통해 전문적인 경영으로 효율성이 제고 될 수 있을 것이라고 기대한다.

본 연구는 시스템 사고에 기반 하여 상수도 서비스 구성요소 상호간의 인과관계를 분석하였으며 상수도 서비스가 효율적으로 운영될 수 있는 실효적인 정책지렛대를 제안했다는 점에서 연구의 의의를 지닌다. 그러나 본 연구에는 다양한 변수를 제대로 반영하지 못한 연구의 한계가 존재한다. 연구의 한계를 나열하면 다음과 같다. 첫째, 충청북도의 소규모 지역의 상수도 서비스운영에 대한 문제점에 의존하여 연구를 수행한 것이므로, 연구의 다각적인 검토와 접근을 위해서는 다양한 지자체의 상수도 운영시스템들과의 비교·분석을 통한 세부적인 연구가 필요하다. 둘째, 연간총생산량, 수도요금수입액, 유수율에 대한 세부적인 인과관계를 분석 하였으므로, 다른 상수도 요소를 사용하여 인과지도를 작성 할 경우 다른 결과가 도출될 수 있다. 셋째, 본 연구를 통해 도출한 연구결과를 지침으로 수도사업장의 궁극적인 목표치에 도달시키는 데는 현실적인 한계가 존재한다. 본 연구는 상수도 서비스 요소들 간의 인과관계를 파악하는데 그쳤으나, 향후 SD모형 구축을 통해 상수도 서비스의 운영 지표의 성과 예측이 가능할 것으로 기대한다. 또한 본 연구가 현재보다 실제적이고 실효적인 상수도 서비스 운영과 관련한 유용한 기초 자료로 활용될 것으로 기대한다.

【참고문헌】

- 김기찬 · 정관용 · 최진 · 김희숙 · 김성원. (2007). 『Vensim을 활용한 System Dinamics』. 서울 경제경영출판사.
- 행정자치부(2014). 2013년 지방공기업 결산 및 경영분석.
- 국토교통부(2015). 세계 물의 날 자료집 물과 미래.
- 환경부(2014). 상수도통계.
- 한국수자원공사(2012). Water Policy & Economy.
- 권순민 · 김선태 · 최남희. (2015). “낙동강 생태계에서의 외래종 뉴트리아 확산과 근절의 동태성 분석”, 『한국시스템다이나믹스 연구』, 제16권 제2호, pp.53~74.
- 최해욱. (2015). “시스템다이나믹스를 활용한 고령화 사회 인구에 따른 지목별 토지거래량에 관한 연구”, 『한국시스템다이나믹스 연구』, 제16권 제1호, pp.75~91.
- 김광주 · 송미경 · 조병설 · 이만형. (2010). “인구감소 시대의 도시관리 정책에 대한 동태적 분석”, 『한국시스템다이나믹스 연구』, 제11권 제4호, pp.77~96.
- 박혜연. (2006). “시스템다이나믹스를 이용한 장래 수도사업 성과 예측”, 한국과학기술원 석사학위 논문.
- 이태근. (2012). “하수도 시스템의 운영 및 유지관리를 위한 시스템다이나믹스 방법론의 적용에 관한 연구”, 부산대학교 석사학위 논문.
- 김규리. (2011). “시스템다이나믹스 모델링 방법론을 활용한 상수도 시스템의 운영 모형”, 부산대학교 석사학위 논문.
- 김나윤 · 김선덕 · 이만형. (2015). “자료포락분석을 이용한 상수도 사업 효율성분석 : 충청북도를 중심으로”, 『한국도시행정학회지』, 제28권 제4호, pp.269~288.
- 유지연. (2014). “지방상수도공기업의 위탁운영이 비용효율성에 미치는 영향에 관한 연구”, 『한국지방재정논집』, 제19권 제2호, pp.101~130.
- 유금록. (2013). “방향거리함수모형을 이용한 지방상수도공기업의 운영효율성과 규모효율성, 규모경제 평가”, 『한국행정학보』, 제47권 제2호, pp.275~311.
- 김상문. (2012). “확률프런티어 분석(SFA)에 의한 지방상수도 효율성 평가”, 『물 정책 · 경제』, 제19호, pp.73~89.
- 김현욱. (2006). “정보 공개도 향상이 국내 수도시스템에 미치는 영향 분석(시스템 다이나믹스 이용)”, 한국과학기술원 석사학위 논문.
- 정은성 · 이상진 · 이진희 · 김영오. (2012). “System Dynamics 유역 물관리 모형의 현황”, 『물

과미래』, 제45권 제3호, pp.28~39.

▶ 접수일 : 2016. 5. 31. / 수정일 : 초심게재 / 게재확정일 : 2016. 6. 26.