



Evaluation of effectiveness of Smart Water City in Korea - Smart Water City project in Paju City, Gyeonggi Province

Lee, Yookyung^a · Lee, Seungho^{b*}

^aPh.D. Candidate, Graduate Program in Urban Regeneration, Korea University, Seoul, Korea

^bProfessor, Graduate School of International Studies · Graduate Program in Urban Regeneration, Korea University, Seoul, Korea

Paper number: 20-052

Received: 31 May 2020; Revised: 1 September 2020; Accepted: 1 September 2020

Abstract

This study analyzes the effects of the Smart Water City (SWC) project that was introduced from 2014 to 2016 in Paju City, Gyeonggi Province, Korea, focusing on the achievement of the business goals. The SWC is referred to as a city that embraces a healthy water supply system based on Smart Water Management (SWM) that promotes the efficiency of water management by combining Information and Communication Technologies (ICTs) with water and sewerage facilities. In order to evaluate the effectiveness of the SWC project, this study deploys evaluation criteria corresponding to the project objectives, and analyzes the outputs before and after the project. The results show that the SWC has contributed to enhancing water supply services and the reliability and drinking rate of tap water. Specific improvement areas include the rise of average water flow rate and water leakage reduction, the diffusion of water quality monitoring system, and the reduction of floating particle concentration and turbidity in drainage pipes was achieved. These were possible because of specific implementation plans for clear goal setting and achievement and active services for citizens. The data related to water quantity and quality showed improved performance compared to before the introduction of SWMS, which is a positive effect. However, a quantitative analysis of the outputs has limitations in identifying other external factors that have led to the changes. In the future, guidelines for spreading SWC and more comprehensive and specific evaluation indicators for SWC should be prepared, and SWMS should be developed in consideration of the needs of users.

Keywords: Paju city, Smart Water City, Smart water management system, Evaluation of project effectiveness

한국 스마트워터시티의 효과성 평가- 경기도 파주시 스마트워터시티 사업을 중심으로

이유경^a · 이승호^{b*}

^a고려대학교 일반대학원 도시재생협동과정 박사수료, ^b고려대학교 국제대학원 국제학과 및 일반대학원 도시재생협동과정 교수

요 지

본 연구는 2014년부터 2016년까지 경기도 파주시에 도입된 스마트워터시티(Smart Water City, SWC) 사업의 효과를 사업목표 대비 달성도 중심으로 분석한다. SWC란, 상하수도 시설에 ICT를 접목하여 물 관리의 효율화를 도모하는 스마트 물 관리시스템(Smart Water Management System, SWMS)을 바탕으로 건강한 물 공급체계를 구현한 물의 도시를 말한다. 본 연구는 SWC 사업의 효과성을 평가하기 위하여 사업목표에 상응하는 평가 기준을 수립하고, 사업 시행 전후의 값(산출물)을 비교 분석한다. 분석 결과, SWC는 공급과정의 수량 및 수질 관리를 강화하고 수도물의 신뢰도 및 응용률을 제고하는데 기여하였다. 구체적으로는 평균 유수율 및 누수저감량 향상, 수질감시시스템의 확산, 배수관로의 부유성 입자농도 및 탁도 감소 등을 달성하였다. 이는 명확한 목표 설정과 달성을 위한 구체적인 실행 방안, 그리고 시민들을 위한 적극적이고 집중적인 서비스가 제공되었기에 가능하였다. 수량 및 수질과 관련된 대부분의 수치상에서 SWMS 도입 이전 대비 개선된 성과를 보였다는 점은 스마트워터시티의 긍정적인 효과로 볼 수 있다. 그러나 산출물에 대한 계량화된 분석은 긍정적인 변화에 끼친 다른 외부요인을 밝히는 데는 한계를 보인다. 향후에는 SWC 확산을 위한 가이드라인과 더욱 포괄적이고 구체적인 평가지표가 마련되어야 하며, SWMS는 이용자의 필요를 고려하여 개발되어야 할 것이다.

핵심용어: 경기도 파주시, 스마트워터시티, 스마트 물 관리 시스템, 효과성 평가

*Corresponding Author. Tel: +82-2-3290-2426
E-mail: seungholee@korea.ac.kr (S. Lee)

1. 서론

지속가능한 발전 개념이 대두된 1972년부터 지금까지 세계의 많은 도시가 지속가능한 도시로의 전환을 추구하고 있다. 1980년대 후반부터 도시의 지속가능성을 제고하기 위한 다양한 도시개발이념이 등장하였는데 도시화로 인한 각종 문제에 대한 해결책으로 다양한 첨단 기술을 활용한 ‘스마트 도시’가 특히 주목받고 있다(Kim, 2019; Moises, 2015; Won, 2012; Yeo, 2019).

한국에서도 스마트 도시는 지속가능한 도시 발전을 위한 전략으로 주목받고 있다. 한국은 스마트 도시를 도시에 정보통신기술(ICT) 및 빅데이터 등 신 기술을 접목하여 각종 도시 문제를 해결하고, 시민의 삶의 질을 제고하며, 지속가능한 도시를 만들고, 새로운 산업을 육성할 수 있는 새로운 도시 모델로 정의한다(Kim, 2019; NEINS, 2020).

스마트 도시 발전과 함께 각종 도시 인프라의 스마트화 경향은 점차 증가하고 있다. 한국은 2018년 1월 ‘스마트시티 추진전략’을 통해 스마트 도시에 구현할 수 있는 핵심기술이자 혁신 성장 동력을 위한 미래의 신기술로 12가지를 발표하였다(PCFIR, 2018). 이 가운데 ‘스마트워터그리드(Smart Water Grid)’는 상하수도 시설에 ICT를 접목하여 물 공급의 효율화와 운영의 최적화를 도모하는 스마트 도시 기술이다. 최근 환경부에서 발표한 ‘제1차 물 관리 기술 발전 및 물 산업 진흥 기본계획(2019~2023)’에서는 스마트워터그리드를 스마트 물 관리 시스템(Smart Water Management System, SWMS)으로 지칭하고 있다.

한국은 국민의 생존과 삶의 질 향상을 위한 기본요소이자 깨끗한 물의 안정적인 공급과 수생태계의 건강성 확보를 위한 방안중 하나로 스마트 물 관리 기술을 제시 및 강조하고 있다. 특히, 정부는 물을 4차 산업혁명 시대에 필요한 신 성장 동력으로 보고 물 관리 기술을 통한 신산업 양성을 계획하고 있다(ME, 2019a). 구체적으로 스마트 상수도시스템은 IoT 기반의 실시간 수도 사용량과 수질계측시스템을 구축하고, 수질 관리시스템과 연계 및 운영함으로써 상수도 시설의 운영 효율성과 안정성을 제고한다. 또한, 하수처리시설의 지능형 운영 관리 시스템은 관로 및 펌프장 등의 IoT 기반 측정 자료를 수집함으로써 최적의 약품 투입과 에너지 사용 절감 등의 효과를 창출한다(PCFIR, 2017).

한국의 이러한 SWMS는 2014년부터 시행된 ‘스마트워터 시티(Smart Water City, SWC)’를 통하여 구현되고 있다. 스마트워터시티란, 취수원에서 수도꼭지까지 공급 전 과정에 ICT를 접목하여 수량과 수질을 과학적으로 관리하고 수도물 정보

를 제공하여 소비자가 믿고 마실 수 있는 건강한 물 공급 체계가 구현된 물의 도시를 말한다(AURUM, 2020; K-water, 2020b).

한국 정부는 한국수자원공사(이하, K-water)를 통하여 2014년 파주시 스마트워터시티 시범사업(이하, 파주 SWC 사업)을 시작으로 SWMS를 2016년 송산시와 부산시, 2017년 세종시 등으로 확대 적용하고 있다. 스마트 도시의 확산 추세와 더불어 2019년 7월, 인천시 일부 지역 수도에서 붉은 물이 나오는 ‘적수사태’로 인하여 도시 내 SWMS의 수요는 증가하고 있다. 예컨대, 환경부는 K-water와 함께 2020년부터 22년까지 전국적으로 물 공급 전 과정을 감시 및 예측할 수 있는 스마트 관망관리 시스템을 구축한다는 계획 등을 발표하였다(K-water, 2020a; ME, 2019b).

파주 SWC 사업과 같이 정부가 국민들에게 안전하고 안정적인 수도물 서비스를 제공하는 경우 올바른 대상에게 적절하게 제공하였는지 확인하는 과정이 필요하다. 정부가 개입하기로 한 활동의 정도는 제기된 문제에 비견하여 적정하며, 그러한 활동들을 통하여 달성하고자 하였던 목표와 실현하고자 하였던 가치가 달성되었는지 살펴보아야 한다(Park, 2015).

특히, 한국사회에서는 공공부문의 양적 성장과 복잡성의 증대로 일반 국민들이 공공사업 효과에 대한 평가에 점점 관심을 갖고 있다. 동시에 체계적인 분석이나 평가가 없이 경험이나 통찰력에만 의존하여 사업의 효과를 판단하는 것은 점차 어려워지고 있다(Noh, 2015). 더욱이 파주 SWC 사업을 수행한 K-water와 같은 공기업은 ‘공공’기관으로서의 공공성과 ‘기업’으로서의 효율성을 조화롭게 추구해야 하지만, 그들의 사업이 얼마나 공공성이나 효율성을 달성하는 데 이바지해왔는지를 분석하는 연구는 거의 부재하다(Koh, 2019). 본 연구는 이러한 기존 연구의 한계를 고려하여 파주 SWC 사업 목표의 달성도를 평가함으로써 효과성을 검증하고자 한다.

2. 스마트워터시티와 스마트 물 관리 시스템

K-water and IWRA (2018)에 따르면 스마트워터시티는 수도물의 직접 음용률을 높이기 위하여 소비자 중심의 SWMS를 이용하여 건강한 수도물 서비스를 제공하는 도시이다. 여기서 건강한 수도물이란, 1) 오염되지 않고 깨끗하며 인체에 유익한 미네랄이 균형 있게 포함된 수도물, 2) 지속적으로 안전하게 관리되는 수도물, 3) 모든 국민이 공정하게 그 혜택을 향유할 수 있도록 공급되는 수도물, 4) 수생태의 건전성 및 지속가능성이 보호·유지될 수 있는 방법으로 생산되는 수도물을 뜻한다(Kim, 2015).

선진국과 IBM, 지멘스(Siemens), 수에즈(Suez)와 같은 관련 기업들은 ‘스마트 워터(Smart Water)’라는 용어를 처음 사용하면서 SWMS를 발전시켜왔다(Lee and Lee, 2018). 예컨대, 미국은 2012년 ‘스마트워터그리드백서’를 통하여 SWMS를 스마트워터미터, 센서, 첨단 모델링, 수문 지도 제작, 스마트 관개농업, 자동화 로봇 등 다양한 기술을 통합적으로 운영하여 지능적으로 수자원을 관리하는 정보네트워크로 정의하였다(WIA, 2012). IBM (2012)은 SWMS의 핵심으로 1) 다양한 정보원으로부터 자동화된 정보 취합을 통해 물 관리 종합 능력을 제고하는 계장화(instrumentation), 2) 실시간 동일 운영 상황에 대한 정보 전달(상호연결), 그리고 3) 종합적이고 시의적절한 정보 제공(정보 분석의 지능화)을 강조한다(Keeling and Sullivan, 2012).

일반적으로 SWMS의 구성요소에는 1) 다양한 수원을 활용하기 위한 취수 및 수처리 시설, 2) 생산된 물을 사용자에게 효율적으로 공급하기 위한 지능형 상수관망, 3) 수집된 데이터의 통합관리 및 의사결정 지원을 위한 ICT 플랫폼 등이 있다(Lee, 2015). SWMS는 지하수와 지표수 뿐만 아니라 빗물, 해수, 하수재이용수 등의 다중 수원을 이용한다. 요소기술로는 지능형검침인프라(Advanced Metering Infrastructure, AMI), 스마트센서(Smart Sensor), 스마트워터미터(Smart Water Meter) 등의 ICT와 공간정보데이터(Geographic Information System, GIS), 수자원 관측 데이터 등이 포함된다(Yim *et al.*, 2014). SWMS은 이러한 요소들을 바탕으로 이용자의 목적에 맞게 수자원을 공급함으로써 수자원 자립률을 높이고 보다 효율적인 물 관리 시설과 네트워크를 제공한다(Brzozowski, 2011; Lee *et al.*, 2014).

K-water는 SWC 구축을 위한 주요 기술로 1) 배수자: 실시간 수질감시시스템, 재염주 투입설비시스템, 유량 공급 안정화 기술, 에너지 통합관리기술, 2) 배·급수관로: 비상연계관로체계, 블록시스템, 관 세척 기술, 자동드레인 설비, 녹방지 물리적 수처리장치, 수압 자동제어 설비, 관로수질감시시스템, 파손 및 누수감시시스템, 상수관망 통합운영관리시스템, 3) 급수설비: 저수조 수질감시/CCTV 시스템, 스마트미터링 시스템, 그리고 4) 수질정보제공시스템 등을 기술하고 있다(K-water, 2016a).

SWMS을 도시 전체에 도입한 시도는 한국을 제외하고는 찾아보기 어렵다. 한국은 파주시(2014~2016), 세종시(2017~2020), 부산시(2012~2023), 그리고 송산시(2007~2030)에 스마트워터미터를 도입하고 있다. 파주 SWC는 최초의 선도 사업이자 시범사업으로 유일하게 사업이 종료된 사례이다. 반면, SWM의 요소기술을 도입한 사례는 국내외에서 다수 찾

아볼 수 있다. 한국의 경우, 고령군(2015), 서산시(2016), 창원시(2017), 그리고 대구시(2019)에 스마트워터미터 시스템이 구축되었다.

전 세계적으로 SWM 기술을 적극적으로 도입하고 있는 대표적인 국가는 미국이다. 미국은 스마트 물 서비스 개념이 본격적으로 대두된 2009년부터 정부와 민간 차원으로 나누어 SWM 기술의 개발 및 확산을 도모하고 있다. 예컨대, 중남부 지역이 풍부한 물을 서부지역으로 수송하여 홍수방지와 가뭄해소를 기대하거나(National Smart Water Grid), 하천 및 대수층부터 도시에 공급되는 물까지 ‘물 연결망’을 구축하여 각종 물 문제를 해결하고 있다(Smart Water Grid Initiative). 특히, AMI를 적극적으로 활용하고 있다. 멕시코(멕시코시티)에서는 2008년부터 10년간 식수 및 하·폐수 수질 및 누수감지를 위한 스마트 센서를 도입하였으며(Program for Management, Use, and Reuse of Water, PUMAGUA), 캐나다(온타리오, 토론토)에서는 2015년 실시간 빗물 수집·모니터링 시스템(Stormwater Smart Grid)을 도입하는 등 SWM 기술을 활용하고 있다(Han, 2014; K-water and IWRA, 2018; Lee, 2014; RDIC, 2017).

유럽국가들은 미국에 비해 SWMS 도입은 다소 느렸지만, 환경산업 선진기업들을 발판으로 급속도로 성장하고 있다. SWMS을 이끄는 기술은 시간대별 사용량을 측정해 그 정보를 송신할 수 있는 기능을 갖춘 측량계인 스마트워터미터이다. 프랑스(파리)는 2008년 위생시설의 실시간 수질 개선을 위한 통합 네트워크를 도입하였고(Real-time Control System of the Greater Paris Sanitation Authority, MAGES SIAAP), 영국(런던 외)은 2030년까지 각 가정의 스마트 미터기 도입을 통한 자동 수도계량시스템 100% 구축을 시도하고 있다. 2014년과 17년 프랑스, 영국을 포함하여 네덜란드와 스페인은 스마트센서 및 ICT를 활용한 누수감지, 수질 향상, 에너지 최적화 등을 목표로 하는 SW4EU (Smart Water for Europe)사업을 추진하였다(Im, 2017; K-water and IWRA, 2018; Lee, 2014; RDIC, 2017).

호주(퀸즈랜드)는 2004년부터 2007년까지 극심한 물 부족 문제를 겪으면서 이를 해결하기 위하여 2008년 가뭄 지역으로 물을 이송하기 위한 ‘워터그리드(Water Grid)’ 개념을 도입하였다(South East Queensland (SWQ) Water Grid). 대부분의 수자원을 인접국인 말레이시아로부터 수입하고 있는 싱가포르 역시 변화하는 국제정세에 따라 안정적인 수자원을 확보하고 수자원의 자립기반을 구축하기 위하여 스마트워터그리드 로드맵을 수립하였다. 싱가포르는 2008년부터 현재까지 급수 시스템의 운영 효율성 개선을 위하여 저렴한 무선센서

네트워크를 활용한 실시간 수자원 모니터링 사업(Wireless Water Sentinel (WaterWise) Project)을 추진하고 있다(Lee, 2014; RDIC, 2017).

이러한 SWMS의 발전에도 불구하고 국내 SWC에 대한 학술적인 연구는 다소 미진하다. 2012년부터 2018년까지 SWMS 과 관련 연구를 살펴본 결과, 60% 이상이 SWMS의 특정 요소 기술과 시스템 개발 방안에 집중되어 있었다(Lee and Lee, 2018). 반면, 기존 SWC에 대한 사례 연구, 도입의 효과분석 등에 관한 연구는 거의 부재하였다. 특히, 파주 SWC 연구는 K-water에서 발표한 자료 이외에는 찾아보기 어렵다.

3. 경기도 파주시 스마트워터시티 사업 개요

SWM 시스템 적용사례 가운데 경기도 파주시 스마트워터 시티는 다음과 같은 측면에서 분석의 의의가 있다. 첫째, 파주 SWC 사업은 파주시와 K-water의 협업을 바탕으로 SWMS 을 ‘시(市)’ 단위 전체에 도입한 한국 최초의 사례로 앞으로의 SWC 구축에 시사점을 제시한다. 파주시 시민의 수질만족도는 사업실시 이전의 3년 동안 지속적으로 하락하고 있었는데 깨끗한 물 환경에 대한 시민들의 요구는 증대하고 있었다(K-water, 2014). 파주시는 다양한 사업을 통하여 물 관리의 질적 수준 향상을 도모하고자 하였는데 예컨대, 수질자동측정망의 운영 및 모니터링, 하수처리장의 확충(처리구역 및 인구 확대, 하수처리율 제고), 수질오염총량관리제 수준의 오염원 관리, 자연형 하천 조성 등의 수질개선사업, 주민참여형 하천환경개선활동의 활성화 등이다(PMG, 2014).

반면, 과거 풍부한 물과 안전한 물 공급을 중시하던 K-water 는 수명 연장과 웰빙에 관심을 갖게 된 최근 추세에 걸맞게 맛 있고 인체에 건강한 물을 공급하는데 집중하기 시작하였다. 특히, 취수원에서 수도꼭지까지 공급 전 과정에 ICT를 접목하여 수량과 수질을 과학적으로 관리하는 SWC를 변화하는 물 관리 수요에 대응하는 방안으로 제시하였다(K-water, 2016c).

둘째, 파주시의 지정학적, 물리·환경적 특징은 SWC 사업의 효과를 배가시키기에 충분하였다. 파주시의 남쪽은 2000년대

초반부터 현재까지 개발 중인 신도시(운정·교하지구)가 자리 잡고 있는 반면, 북쪽은 북한과의 접경지역(군내면, 장단면, 진동면, 진서면)으로 민간인 출입이 제한되어 있다. 이러한 지정학적 환경은 파주시 주민들의 연령, 소득, 직업 등이 균일하기 보다 다양성이 매우 높음을 의미한다. ‘물’이 공공재임을 감안 하였을 때, 형평성을 고려하였다는 측면에서 의미가 있다.

파주시의 상수도는 2009년 7월부터 2020년 5월 현재까지 K-water가 계속 수탁 운영하여왔다. 그래서 상수도 시설의 노후화(노후관 비율)가 낮고 기존 인프라를 활용하여 단기간 내 신기술을 도입하기가 유리하였다. 1단계 사업이 진행된 교하 지구는 고도정수처리시설 도입이 완료되어 있고, 블록 구축 및 연계운영 수준이 양호하며, 설치 10년 미만의 관로가 약 65%로 관망상태 역시 준수하였다. 또한, 전체 수도물 공급시설에 대한 최적화가 가능하도록 이원화된 공급체계, 즉, 광역과 지방급수구역이 구분되어 단계별 접근이 가능하였다(K-water, 2014; 2016c).

이러한 배경 하에 K-water와 파주시는 2014년 4월 파주 SWC 사업을 위한 양해각서를 체결하고 9월부터 SWC 서비스를 개시하였다. 2016년 12월까지 총 3단계에 걸쳐 진행되었으며, 단계별 추진 지역과 급수원인 등은 Fig. 1 및 Table 1과 같다.



Fig. 1. Paju SWC project area by phases. Source: Modified based on K-water (2016b)

Table 1. Paju SWC project implementation by phases

| Phase | Period | Region | Serviced Population | Volume of water supply |
|------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1 (Blue) | 2014.04 ~ 2015.03 | Gyooha·Jeokseong | 37,000 people | 11.2 thousand m ² /day |
| 2 (Yellow) | 2015.04 ~ 2016.03 | Phase 1 Region, Geumchon·Unjeong | 223,000 people | 67.1 thousand m ² /day |
| 3 (Red) | 2016.04 ~ 2016.12 | All Paju city areas | 406,000 people | 138.1 thousand m ² /day |

Source: Modified based on K-water (2016b)

4. 분석의 틀: 효과성 평가

4.1 개념적 정의

K-water와 같은 공기업은 독점사업에 대한 시장실패를 해결하고 증대하는 공공서비스의 수요를 충족할 의무를 갖고 있다. 공공기관의 각종 경영평가와 성과평가 제도는 이러한 공기업의 공공성과 효율성 두 가치를 평가하는 도구로서 오랫동안 발전되어 왔다(Koh, 2019).

Koo (2015)는 공공성을 정의하는 데 있어서 자원 배분을 누가, 어떤 지원을, 어떤 방식으로 하였고 그 효과성은 어떠한가가 핵심이 된다고 주장하였다. 효과성과 효율성의 개념은 학자들과 실무자들 간에 여전히 완전한 합의가 이루어지지 않는었는데, 본 연구에서는 문헌검토를 바탕으로 효과성과 효율성을 다음과 같이 정의하고자 한다.

먼저, 효과성이란, 정부와 지역사회가 추구해야 할 목적이 달성되고 있는가에 대한 정도를 뜻한다. 이는 서비스 이용자 수, 만족도, 형평성 등을 포함한 서비스의 질과 서비스의 최종 결과 및 영향을 포함한다. 다시 말해, 정부의 활동과 서비스가 산출해 내야 할 대상(양)을 산출지표로 보고 이를 중심으로 서비스의 질과 최종 결과를 평가하는 것이 효과성(결과지표)이다. 여기서 산출지표는 사업의 목표가 직접적으로 반영되며 시간이 흘러도 동일한 형태를 유지하며 관리될 수 있는 유형의 지표로 효율성 평가의 대상이 된다(Usilaner and Soniet, 1980).

유사한 관점에서 Fischer (1997)는 효율성과 효과성이 모두 다루어져야 하는 중요한 가치임을 정책평가 종합모형을 통해 강조한다. 효율성 관점에서 계량지표를 측정하고 분석함과 동시에 해당 정책과 사업에 대하여 목표의 상황 적합성, 사회적 수용성, 사회적 가치와의 부합성 등에 대한 평가가 이루어져야 한다는 것이다(Koh, 2019).

Lee (2017) 역시 공공성과를 평가하는 방안으로 효율성과

효과성, 그리고 반응성을 언급하였다. 효율성은 인력예산의 투입대비 달성되는 산출목표의 비율을 말하며, 효과성은 서비스의 질과 서비스로 인해 기대되는 효과를 말한다. 덧붙여 해당 결과지표(서비스 결과)의 상황적 타당성과 사회적 지지성(결과지표 추구로 인한 예기치 못한 결과들)이 추가되었을 때 공기업의 성과는 종합적으로 평가될 수 있다.

효과성 평가는 정책이나 사업이 원래 의도했거나 사업을 통해 달성하기 원했던 ‘직접적 목표(direct goal)’의 달성 정도를 측정하는 것으로 보기도 한다(Anthony, 1965; Dror, 1971). 여기서 목표는 ‘절차적 목표(procedural objectives)’와 ‘효과 목표(outcome or impact objectives)’로 구분되는데 사업 집행의 책임을 지고 있는 행정부서의 실적에 집중하는 것을 전자로 보고, 사업의 효과(outcomes) 또는 영향(impacts)에 초점을 맞추어 달성하고자 하는 바를 설정하는 것을 후자로 본다(Kim and Ghong, 2013).

본 연구는 이와 같은 논의를 기반으로 파주 SWC 사업을 통해 달성하고자 했던 직접적 목표의 달성 정도에 초점을 맞춘 효과성 평가를 수행하고자 한다. 목표달성도를 측정하는 방법으로는 SWC 사업실시 전후의 결과를 비교하는 방법을 취한다. 이러한 평가방법은 효과성을 평가하는 가장 현실적인 방법으로 간주된다. 특히, 본 연구와 같이 이용 가능한 시간과 인적 자원이 제한되어 있고 사업의 존속기간이 짧으며 범위가 좁은 경우 적합하다(Harry *et al.*, 1973). 2014년부터 2016년까지 3년간 경기도 파주시만을 대상으로 시행된 파주 SWC 사업은 이러한 요건을 갖추었다고 볼 수 있다.

4.2 평가 설계

사업의 효과성 평가를 위해서는 목표달성의 정도를 측정하기에 충분한 정도로 명확한 사업목표가 필수적이다(Kim and Ghong, 2013). 효과성을 평가하는 방법에는 사업실시 전

Table 2. Paju SWC project objectives

| Main objective | | Detailed objectives |
|----------------|--|---|
| 1 | Producing healthy tap water for the human body | A) Raw water management and water treatment process optimization |
| | | B) Healthy tap water containing adequate minerals in raw and purified water |
| 2 | Enhancement of quantity and quality of water in the supply process | A) Enhancement of monitoring of water quantity and quality |
| | | B) Optimization of water quantity and quality-oriented pipe networks |
| | | C) Equalization of residual chlorine throughout the supply |
| | | D) Establishment of accommodation facility management standards |
| 3 | Improving tap water reliability and drinking rate | A) Improving drinking rate at the level of advanced countries |
| | | B) Real-time check of faucet water quality |
| | | C) Introducing tap water quality assurance system |

Source: Modified based on K-water (2014)

후를 비교하거나 사업실시 지역과 미실시 지역을 비교하는 등의 다양한 방법이 있다. 본 연구에서는 첫째, 사업기본계획 (Master Plan)을 기반으로 파주 SWC 사업의 목표를 정리하고(Table 2), 둘째, 목표에 상응하는 평가 기준을 선별 및 수립하여, 셋째, 사업 전후의 결과를 비교분석한다. 평가기준에 해당하는 사업 전후의 수치는 K-water의 결과보고서(K-water, 2016b; 2016c)를 활용하되, 효과성 평가 설계에 따라 시간적·공간적 배열을 조정하여 사업 전후의 결과가 대비되도록 분석한다. 또한, 사업 관계자 및 전문가 인터뷰를 통하여 사업 종료 이후의 최근 상황을 고려하여 평가한다.

가장 먼저 제시된 파주 SWC 사업의 목표는 ① 먹는 물 수질 기준을 만족시키는 인체에 건강하고 안전한 물을 생산하는 것이다. 이는 비단 SWC 사업에서만 강조되는 목표이기보다는 수질을 개선하여 삶의 질과 공공복리 증진에 기여하려는 K-water의 목표이기도 하다.

SWC 사업의 실질적인 목표는 ② 공급과정의 수량 및 수질 관리 강화와 ③ 수도물의 신뢰도 및 음용률 제고이다. 수량 및 수질관리를 강화하기 위하여 모니터링 방안을 개선하고 관망을 최적화하며 잔류염소를 적정 관리하고자 하였다. 또한, 수도물에 대한 시민들의 불신을 해소하고 낮은 음용률을 향상하

Table 3. Effectiveness evaluation procedure (Comparison before and after project implementation)

| Phase 1 | | Phase 2 | | Phase 3 | |
|---|---|--|---|---|---|
| Confirmation of project objectives | → | Development of evaluation criteria corresponding to project objectives | → | Obtaining values for criteria prior to project implementation | → |
| Phase 4 | | Phase 5 | | Phase 6 | |
| Obtaining values for criteria during the period after the project | → | Comparison before and after the project to measure the changes caused by the project | → | Review of other possible factors that can explain the change | |

Source: Modified based on Kim and Ghong (2013)

Table 4. Evaluation criteria according to Paju SWC project objectives

| | Detailed objectives | Evaluation criteria |
|---|--|---|
| 1 | A) Raw water management and water treatment process optimization | a) Status of alternative/multi-water source and multi-water loop construction b) Status of strengthening monitoring of trace hazardous substances c) Status of expansion of customized advanced water purification and complex sterilization process |
| | B) Healthy tap water containing adequate minerals in raw and purified water. | a) Optimal mineral content by water system, process, and raw water |
| 2 | A) Enhancement of monitoring of water quantity and quality | a) Water flow rate, water leakage quantity, and water leakage reduction amount |
| | B) Optimization of water quantity and quality-oriented pipe networks | a) Supply status of water quality measuring instrument and water quality monitoring system b) Residual chlorine concentration and turbidity before and after automatic drain operation c) Concentration and turbidity of floating particles before and after cleaning the drain pipe d) Number of times to support indoor water supply pipe cleaning and water quality before and after cleaning |
| | C) Equalization of residual chlorine throughout the supply | a) Rate of equalization of residual chlorine concentration (concentration deviation) b) Volume of antiseptic injection c) Volume of disinfection by-products |
| | D) Establishment of customer facility management standards | a) Facility maintenance and operation management guidelines |
| 3 | A) Improving drinking rate at the level of advanced countries | a) Direct drinking rate of tap water |
| | B) Real-time check of faucet water quality | a) Status of water quality check service b) Consumer satisfaction |
| | C) Introducing tap water quality assurance system | a) Status of provision of safety insurance service for tap water and civil complaints |

Source: Produced by author

고자 하였다.

이러한 SWC 사업의 목표는 수도공급자인 K-water 중심으로 설정되었다고 볼 수 있다. 예컨대, K-water는 안전하고 깨끗한 물 관리, 공평하게 나누는 맑은 물 공급, 물-에너지-도시 융합서비스 확대 등을 사업 방향으로 두고 있다(K-water, 2020c). 파주 SWC가 국내 최초 사례로 SWC 목표 설정을 위한 가이드라인이나 벤치마킹 사례가 부재하였다는 점은 이러한 K-water 위주의 목표 수립에 원인이 된다. 물론 거시적인 관점에서 파주 SWC의 사업목표가 건강한 물 순환을 도모하고 깨끗한 물을 확보하며 안전한 물 환경을 조성하려는 환경부의 ‘제2차 물 환경관리 기본계획(2016)’, 또는 ‘제1차 물 관리 기술 발전 및 물 산업진흥 기본계획(2019)’ 등과 그 방향을 같이 하고 있다는 점은 다소 긍정적으로 볼 수 있다.

Table 3과 같은 효과성 평가 절차에 따라서 Table 4와 같이 파주 SWC 사업목표에 상응하는 평가기준을 수립하였다. 이러한 평가기준을 제시하는데 있어서는 성과지표 개발 방안으로 가장 널리 활용되고 있는 SMART 원칙을 고려하였다. SMART 원칙은 성과지표가 갖춰야 할 요건으로 구체성(Specific), 측정가능성(Measurable), 달성가능성(Attainable/Achievable/Action-oriented) 또는 원인성(Attributable), 신뢰성(Reliable) 또는 타당성(Relevant), 그리고 적시성(Timely) 또는 추적가능성(Trackable) 등을 명시하고 있다(Choi, 2016; Harbour, 1997; MOE, 2010; OPC, 2016).

이에 본 연구는 파주 SWC 사업목표에 따른 평가기준으로 구체적이고 명확하여 목표 달성정도를 쉽게 판단할 수 있고, 측정할 수 있는 데이터가 존재하며, 목표치의 달성이 사업 주체의 노력으로 통제가능하고, 공식적이고 객관적인 정보를 활용하며, 사업의 성과와 관련 있고, 빈번하게 측정할 수 있는 지표들로 구성하였다. 달성된 성과의 정도를 명확하게 파악하도록 계량(정량)지표를 위주로 하였으나, 필요에 따라 비계량(정성)지표를 포함하였다. 예컨대, 수돗물에 대한 인식개선 정도를 평가하기 위한 소비자 만족도는 정성지표의 한 종류로 정량적으로 제시되기 어려운 경우의 효과 측정을 가능하게 한다.

5. 분석 결과

5.1 사업목표① 달성 결과

효과성 평가의 3, 4, 5단계에 따라 사업실시 전후를 비교한 결과는 다음과 같다. 가장 먼저, ① ‘인체에 건강한 수돗물을 생산한다’는 목표는 비록 SWC 사업의 주요 목표 가운데 하나로 설정되었으나, 장기적인 계획이 필요한 목표로 분석된다.

K-water는 파주 SWC 사업 기본계획을 통하여 사전에 수원 간의 연계 및 수원 다변화를 통한 수량안정성의 확보와 미세 탈 함유기술의 개발 등을 약 3년의 사업 기간을 통해 달성하기 어려울 것으로 전망하였다. 실제로 구체적인 사업 결과물을 가져오는 데는 역부족이었으며, 향후 구현될 수 있는 중·장기적인 계획이 요구되는 실정이다.

5.2 사업목표② 달성 결과

② ‘공급과정의 수량 및 수질 관리를 강화한다’의 A) 수량 및 수질 모니터링의 강화, B) 관망 최적화, C) 공급 전 과정의 잔류염소 균등화, 그리고 D) 수용가 시설의 관리기준 수립 등의 세부목표를 통해 실현하고자 하였다.

첫째, 수량 및 수질 모니터링의 강화 척도로는 유수율과 누수량을 사용하였다. 파주시는 유수율이 저조한 지역에 누수 감지센서 500대를 설치하였다. 누수감지센서 적용 전후 대비 유수율은 평균 13.38% 향상되었으며, 이러한 개선효과는 연간 3억 7,600만 원의 경비절감 효과를 가져오는 것으로 추정한다. 또한, 누수지역에 대한 신속한 복구 작업(총 14개소)과 운영관리를 통해 1,111 m³/일의 누수 저감을 달성할 수 있을 것으로 추정하였다(수량수지 분석)(Table 5(a)).

둘째, 관망의 최적화 상태를 평가하기 위하여 a) 수질계측기 및 수질감시시스템, b) 자동드레인 운영 전후 잔류염소 농도 및 탁도, c) 배수관로 세척 전후 부유성입자 농도 및 탁도, 그리고 d) 옥내급수관 세척 지원 횟수 및 전후 수질 등을 분석하였다(Table 5(b)).

파주 SWC 사업은 수질계측기를 확대 설치하고 수질감시 시스템을 보급함으로써 수질감시를 강화하고자 하였다. 총 5개소의 배수지에는 법정항목 외 오염물질 감시를 위한 전기전도도계와 실시간 수질 모니터링을 위한 CCTV를 설치하였다. 총 9개소의 관로에 공급과정 주요지점의 수질감시를 위하여 잔류염소, pH, 탁도, 전기전도도, 온도 관련 수질계측기를 설치하였다. 수질계측기에서 취득된 수질정보를 제공하기 위하여 아파트(총 9개소)와 초등학교(총 10개소)에 수질전광판과 음수대 등을 설치 및 운영하였다.

총 7개소에 자동드레인(automatic drainage system)을 설치하여 관망 내 수질변화를 감시하고, 이상수질 시 오염물질을 외부로 배출함으로써, 수질계측설비와 연계하여 비상시 수질사고에 대응하고자 하였다. 또한, 관말지역, 하절기 잔류염소가 부족한 구역이나 유속이 느린 구간을 대상으로 예방적 수질관리를 위하여 관내 정체수를 주기적으로 배출시킴으로써 수질 안전성을 확보하였다.

구체적으로는 적성배수지(적암리, 산업단지), 광탄배수

Table 5. Evaluation of effectiveness of Paju SWC project

(a) Goal 2-A

| | Detailed objectives | Evaluation criteria | Region | Value before/during project implementation | Installation | Value after project implementation | Before & after comparison | | |
|---|---|--|--|--|--------------|---|------------------------------|---|------------------------------|
| 2 | A) Enhancement of monitoring of water quantity and quality | a-1) Water flow rate | Gyoha (Moonbal, Sannam, Seopae-dong) | (2016.01~05) 71.91%p | 2016.05~07 | (2016.06~10) 88.08%p | 16.17%p ↑ | | |
| | | | | (2016.01~03)* 66.48%p | | (2015.01~05)** 60.82%p | 9.30%p ↑ | | |
| | | | Beopwon-eup area | (2016.01~08) 76.73%p | 2016.07~09 | (2016.09~10) 94.05%p | 17.32%p ↑ | | |
| | | | | (2016.01~03)* 74.72%p | | (2015.01~08)** 69.07%p | 14.12%p ↑ | | |
| | | | Jeokseong and Papyeong-myeon area | (2016.01~09) 76.77%p | 2016.09~11 | (2016.10) 83.43%p | 6.66%p ↑ | | |
| | | | | (2016.01~03)* 67.58%p | | (2016.10) 74.64%p | 5.27%p ↑ | | |
| | | Improvement of the average flow rate by 13.38% p | | | | | | | |
| | | a-2) Leakage estimation (a') | a-3) Leakage reduction according to quantity balance analysis (b') = Supply - Effective quantity (Water flow rate + Unreduced quantity of meter) | Gyoha (Moonbal, Sannam, Seopae-dong) | a' | n/a | 2016.05~07 | a' (2016.06~10) 355.7 m ³ /day | b' 435 m ³ /day ↓ |
| | | | | | b' | 653 m ³ /day | | b' (2016.06~10) 218 m ³ /day | |
| | | Beopwon-eup area | a' | n/a | 2016.07~09 | a' (2016.09~10) 397 m ³ /day | b' 481 m ³ /day ↓ | | |
| | | | b' | 556 m ³ /day | | b' (2016.09~10) 75 m ³ /day | | | |
| | | Jeokseong and Papyeong-myeon area | a' | n/a | 2016.09~11 | a' (2016.10) 767.9 m ³ /day | b' 195 m ³ /day ↓ | | |
| b' | 506 m ³ /day | | b' (2016.10) 311 m ³ /day | | | | | | |
| Leakage reduction average 1,111 m ³ /day | | | | | | | | | |

*The initial goal was to improve by 10% from January to March, but the flow rate analysis was conducted from January to May in consideration of the leakage detection sensor installation and restoration period.

**It is possible to verify the effectiveness of the installation of the leak detection sensor compared to the increase rate of the flow rate during the same period in 2015.

지(아동동), 탄현배수지(법흥리), 교하배수지(산남로, 상지 석동)에 설치하였으며, 잔류염소 농도 0.1 mg/L 이하, 탁도 0.5NTU 이상일 경우 자동방류 되도록 하였다. 운전결과 2015년에는 자동드레인 장치의 수질계측기 오류(적암리, 법흥리, 산남로)와 밸브 미개방(아동동) 등의 오작동이 있었으나, 2016년에는 대부분 적정하게 운영되었다. 특히, 하절기에 일시적으로 발생한 잔류염소 부족은 관내 정체수 배제를 통하여 잔류염소 회복에 효과적으로 대응하였다.

또한, 배수관로 세척을 통해 수질을 개선하고 수질민원과 사고를 예방하고자 하였다. SWC 사업구간 내 민원이 다수 발생하는 총 17개소에 대하여 관 내부 탐상조사(내시경)를 통해 공기주입 세척(12개소), 스와빙 피그(swabbing pig) 세척(2개소), 무방류 고유속 세척(1개소)등의 세척 공법을 선정하였다. 뿐만 아니라 공기주입 세척 및 스와빙 피그 세척을 위한 제수밸브, 공기주입구, 피그삽입구, 이토밸브(low-off valve),

소화전 등도 함께 설치하였다. 관내부에 침적 또는 부착되어 있는 이물질(생물막, 부식생성물, 도장재, 침전물 등)을 외부로 배출함으로써 관 내부 상태를 개선할 수 있었다.

관 세척 효과는 세척 후 배출구에 설치된 백필터(bag filter)에 수집된 침전물과 세척 전후의 수질변화 등을 통해 그 효과를 확인할 수 있다. 백필터에 수집된 침전물을 분석한 결과, 단위 길이당 침전물 제거량(50 μm 이상)은 최소 7.1 mg/m에서 최대 2,985.1 mg/m로 나타났다. 또한, 관 표면의 부유성 입자들이 제거되어 물속 부유 입자들도 최소 27%에서 최대 88.7% 감소율을 보였다. 입자물질 감소에 따라 수중 탁도 유발성분도 최소 6.7%에서 최대 92.3%의 감소율을 보였다.

뿐만 아니라 2014년 8월 말부터 2016년 10월 말까지 10개 이상의 아파트 단지를 대상으로 총 660세대(2014년 319세대, 2015년 164세대, 2016년 177세대)에 옥내급수관 세척을 시행하였다. 2015년에서 2016년 사이 시행한 341세대 가운데 절반

Table 5. Evaluation of effectiveness of Paju SWC project (Continue)

(b) Goal 2-B

| | Detailed objectives | Evaluation criteria | Region / Division | Value before/ during project implementation | Value after project implementation | Before & after comparison | | | | |
|--|---|---|---|---|------------------------------------|--|---|------|------|---|
| 2 | B) Optimization of water quantity and quality-oriented pipe networks | a) Status of water quality measuring instrument and water quality monitoring system | Distributing reservoir | n/a | 5 locations | Additional installation on existing infrastructure | | | | |
| | | | Pipeline | n/a | 7 locations | | | | | |
| | | | Condominium | n/a | 9 locations | | | | | |
| | | | Primary school | n/a | 10 locations | | | | | |
| | | b) Automatic drain operation | | | 2015 | 2016 | Contribute to restoring residual chlorine and stabilizing turbidity | | | |
| | | | Jeokseong | Jeogam-ri | Malfunction* | Normal operation*** | | | | |
| | | | | industrial complex | n/a | | | | | |
| | | | Gwangtan (Adong-dong) | | Malfunction** | | | | | |
| | | | Tanhyeon (Beopheung-ri) | | Malfunction* | | | | | |
| | | | Gyoha | Sinnam-ro | Malfunction* | | | | | |
| | Sangjiseok-dong | n/a | | | | | | | | |
| | c) Before and after cleaning the drainpipe | Floating particle concentration (ug/L.hr) | Phase 1 Region (5 locations) | | Average 501.7 | Average 172.4 | Average reduction rate 65.6% | | | |
| | | | Phase 2 Region (2 locations) | | Average 625.4 | Average 196.2 | Average reduction rate 68.6% | | | |
| | | | Phase 3 Region (7 locations) | | Average 180.1 | Average 50.5 | Average reduction rate 72.0% | | | |
| | | Turbidity | Phase 1 Region (5 locations) | | Average 0.58 | Average 0.19 | Average reduction rate 67.2% | | | |
| | | | Phase 2 Region (2 locations) | | Average 0.63 | Average 0.25 | Average reduction rate 60.3% | | | |
| | | | Phase 3 Region (7 locations) | | Average 0.50 | Average 0.25 | Average reduction rate 76.0% | | | |
| | | d) Before and after cleaning the indoor water supply pipe | Number of indoor water supply pipe cleaning support | | | Before 2014 | 2014 | 2015 | 2016 | Total 660 household pipe cleaning support |
| | | | | Phase 1 Region | | n/a | 319 | 24 | 97 | |
| | | | | Phase 2 Region | | n/a | - | 140 | 78 | |
| Phase 3 Region | | | | n/a | - | - | 2 | | | |
| Water quality before and after cleaning the indoor water supply pipe**** | Chlorine (0.1 ~ 4.0mg/L) | | 0.204 | 0.028 | | 0.024 (11.8%) ↑ | | | | |
| | Turbidity (0.5NTU or below) | | 0.165 | 0.127 | | 0.038 (23%) ↓ | | | | |
| | pH (5.8 ~ 8.5) | | 7.327 | 7.341 | | 0.014 (0.2%) ↑ | | | | |
| Iron (0.3 mg/L or below) | | 0.013 | 0.006 | | 0.007 (53.8%) ↓ | | | | | |
| Copper (1.0 mg/L or below) | | 0.029 | 0.016 | | 0.013 (44.8%) ↓ | | | | | |

*Water meter error, **Valve not open, ***Residual chlorine 0.1 mg / L or more, turbidity 0.5 NTU or less, ****Water quality fluctuation rate = (concentration of the main items of water purification plant - concentration at the time of pipe network survey) ÷ Concentration of water purification plant × 100 (%)

가량의 대상자(168세대)에 대하여 세척 전후의 수질을 분석한 결과, 탁도, 철, 구리가 각각 23%, 53.8%, 44.8% 감소하였다.

셋째, 수질개선을 위하여 총 5개소의 배수지에 재염소 설비를 설치하고 잔류염소 농도의 균등화 및 적정화를 도모하였다. 이는 공급과정에서 동일한 배수구역내에서 시간별, 이송거리별 잔류염소의 농도편차를 줄이고 안전한 농도로 일정하게 유지하는 것이다. 잔류염소의 시간적, 공간적 분포도를 살펴보면, 사업실시 이후 잔류염소의 농도 편차가 감소하는 시간적, 공간적 균등화 효과가 나타났다. 시간적 균등화란,

잔류염소 관리지점(정수지, 배수지 등 소독제 주입지점)에서 일정기간동안 잔류염소의 적정농도 유지 또는 변동 폭의 최소화를 뜻하며, 공간적 균등화란, 정수장에서 관말까지 이송거리 및 체류시간별 잔류염소의 적정농도 유지 또는 변동 폭의 최소화를 말한다. 파주 SWC 사업은 잔류염소의 시간적 균등화(동일지점 연중 최대-최소 농도차)를 29.2%, 공간적 균등화(대상지역내 최대-최소 농도차)를 17.2%로 개선하였으며, 소독시 발생하는 부산물의 저감으로 보다 건강한 물을 공급할 수 있었다(Table 5(c)).

Table 5. Evaluation of effectiveness of Paju SWC project (Continue)

(c) Goal 2-C, 2-D

| | Detailed objective | Evaluation criteria | Region | | Value before /during project implementation | | Value after project implementation | | Before & after comparison | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|--|------|---|
| | | | $(\Delta\text{mg}/\ell)$ | | 2015 | | 2016 | | | | | |
| 2 | C) Equalization of residual chlorine throughout the supply | a) Rate of equalization of residual chlorine concentration (concentration deviation) | Water purification plant | Water supply area | Temporal | Spatial | Temporal | Spatial | Temporal equalization 29.20% | | | |
| | | | Munsan | Jeokseong | 0.42 | 0.50 | 0.13 | 0.43 | | | | |
| | | | | Gwangtan | 0.34 | 0.45 | 0.31 | 0.37 | | | | |
| | | | | Tanhyeon | 0.26 | 0.64 | 0.25 | 0.40 | | | | |
| | | | | Beobwon | 0.20 | 0.46 | 0.15 | 0.38 | | | | |
| | | | Goyang | Munsan | 0.35 | 0.39 | 0.22 | 0.37 | | | | |
| | | | | Gyoha | 0.36 | 0.35 | 0.30 | 0.21 | | | | |
| | | | | | | | Wollong | 0.41 | 0.18 | 0.23 | 0.20 | Spatial equalization 17.24% |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | b) Amount of disinfectant (chlorine) injection | Munsan water purification plant | | 2014.01 ~ 09 Average injection volume 53.89 kg/day | | 2016.01 ~ 09 Average injection volume 49.08 kg/day | | Average reduction 4.81 kg/day Average reduction rate 8.9% |
| | | | c) Amount of disinfection by-products | | | (mg/l) | | 2015.09 | 2016.09 | Reduction rate (%) | | |
| | | | | | | Jeokseong distributing reservoir | | 0.048 | 0.038 | 20.8 | | |
| | | | | Tanhyeon distributing reservoir | | 0.047 | 0.034 | 27.7 | | | | |
| | | | | Gwangtan distributing reservoir | | 0.045 | 0.036 | 20.0 | | | | |
| | | | | Beobwon distributing reservoir | | 0.048 | 0.036 | 25.0 | | | | |
| | | | | Munsan direct connection | | 0.054 | 0.041 | 24.1 | | | | |
| | | | Average | | | 0.048 | 0.037 | 22.9 | | | | |
| | D) Establishment of accommodation facility management standards | a) Facility maintenance and operation management guidelines | For all regions | | Absence | | Establishment | | Establishment | | | |

문산정수장의 경우, 하천수 취수에 따른 원수의 수질변화가 크고 공급과정에서 잔류염소의 편차가 과다하여 정수장 중심의 잔류염소 관리에 한계를 보였다. 잔류염소의 적정관리를 위하여 배수지에 소독제(염소)를 추가로 주입하여 총 소독제 주입량을 8.9% (4.81 kg/일) 저감하였다. 잔류염소 농도가 낮을수록 소독부산물 발생량도 감소한다(Nikolaou *et al.*, 2004). 파주시 역시 정수장의 잔류염소 저감과 배수지의 분배 주입을 통하여 공급계통 전반의 소독부산물 생성농도를 평균 22.9% (0.048 mg/L → 0.037 mg/L) 감소시켰다. 먹는 물 수질 기준으로 소독부산물은 0.1 mg/l 이하여야 한다.

넷째, 파주 SWC 사업은 SWMS의 수용가 시설 관리기준을 수립하기 위한 목적으로 ‘SWC 구축 가이드북’을 발간하였다. 가이드북은 SWC 구현을 위하여 SWMS 대표기술 선정과 적용, 그리고 효과검증 방안까지 세부적인 운영관리 지침을

제시하고 있다.

5.3 사업목표③ 달성 결과

③ ‘수돗물의 신뢰도 및 음용률을 제고한다’는 세 번째 목표는 A) 선진국 수준의 음용률 향상, B) 수도꼭지 수질의 실시간 확인, 그리고 C) 수돗물 품질보증제 도입 등의 세부목표를 가지고 있었다(Table 5(d)).

먼저, K-water는 급수인구 중 수돗물을 그대로 마시는 비율(%)로 직접 음용률을 산정하였다. 자료수집방법으로는 2014년부터 2016년까지 총 43개 문항으로 구성된 구조화된 설문지를 바탕으로 3년간 총 6회(상하반기 각 1 회/연)에 걸쳐 사업 지역 내 서비스를 이용한 시민 600명(200 명/연)을 대상으로 개별 면접 조사(Face-to-Face Interview)를 수행하였다. 그 결과, 1~3단계 사업지역 모두에서 평균 36%의 직접 음용률을

Table 5. Evaluation of effectiveness of Paju SWC project (Continue)

(d) Goal 3

| | Detailed objective | Evaluation criteria | | Region | Value before/ during project implementation | Value after project implementation | Before & after comparison | |
|---|---|---|--|-------------------------------------|---|--|---------------------------|--------------------|
| 3 | A) Improving drinking rate at the level of advanced countries | a) Direct drinking rate of tap water | | Gyoha·Jeokseong | (2014.06) 1.0% | (2016.10) 41.5% | 30.5% ↑ | |
| | | | | Geumchon·Unjeong | (2015.08) 3.0% | (2016.10) 32.5% | 29.5% ↑ | |
| | | | | All regions | (2016.05) 5.0% | (2016.10) 35.0% | 30.0% ↑ | |
| | B) Real-time check of faucet water quality | a-1) Status of water quality check service | Number of visiting water quality inspection (Water Codi) | Gyoha·Jeokseong | n/a | 470 | Total 2,542 times | |
| | | | | Gyoha·Jeokseong Geumchon·Unjeong | | 769 | | |
| | | | | All regions | | 1,303 | | |
| | | | Number of indoor piping diagnosis (Water Doctor) | Gyoha·Jeokseong | n/a | 150 | | Total 604 times |
| | | | | Gyoha·Jeokseong Geumchon·Unjeong | | 197 | | |
| | | | | All regions | | 257 | | |
| | | Number of cleaning support (Water Doctor) | Gyoha·Jeokseong | n/a | 319 | Total 660 times | | |
| | | | Gyoha·Jeokseong Geumchon·Unjeong | | 164 | | | |
| | | | All regions | | 177 | | | |
| | | a-2) Consumer satisfaction | Service satisfaction | Gyoha·Jeokseong | (2015.08) 77.5% (2015.10) 89.1% | (2016.10) 93.9% | Average 86.8% | |
| | | | | Geumchon·Unjeong | (2015.10) 87.2% | (2016.10) 97.9% | Average 92.6% | |
| | | | | All regions | n/a | (2016.10) 89.8% | n/a | |
| | | | | Average 93.8% | Average 89.7% | | | |
| | Water quality satisfaction | | Gyoha·Jeokseong | (2016.08) 73.5% (2015.10) 87.0% | (2016.10) 90.5% | Average 5.6% ↑ | | |
| | | | Geumchon·Unjeong | (2015.08) 65.5% (2015.10) 82.5% | (2016.10) 81.0% | Average 5.2% ↑ | | |
| | | | All regions | (2016.05) 62.0% | (2016.10) 86.5% | 24.5% ↑ | | |
| | | | | | Average 86.0% | Average 5.4%* | | |
| C) Introducing tap water quality assurance system | a) Status of provision of safety insurance service for tap water and civil complaints | The number and amount of insurance payments | For all regions | Not implemented | Implemented (Not aggregated) | Service implementation, later aggregation required | | |
| | | Number of complaints | | | | | | |

*Excluding 2016 samples

보였으며, 이는 사업실시 이전 대비 평균 30% 이상이 향상된 수치이다.

이처럼 단기간에 큰 폭의 상승세를 보인 요인 중 하나로는 다채널을 활용한 수도물 홍보가 있다. 설문 조사에 따르면, 기존에 수도물을 직접 마시지 않는 주된 이유로는 ‘막연한 불안감’ 때문이었는데, 수도물 음용캠페인 등 적극적인 시민 참여형 홍보를 통하여 건강한 물 공급 사업에 대한 지역사회와 주민들의 인식을 제고하였다. 또한, 파주시는 2016년 ‘노후주택 녹

슨 상수도관 개량 지원 사업’과 같은 지자체 자체사업을 SWC 사업과 연계 시행함으로써 사업 효과를 배가하고자 하였다. 이러한 노력이 직접 음용율의 괄목할만한 성과를 가져오는데 기여하였다고 볼 수 있다. 파주시는 SWC 사업 종료 이후에도 현재 약 20%의 직접 음용률을 유지하고 있다(K-water, 2019).

다음으로 수도꼭지 수질을 확인하는 방안으로 수질확인서비스의 제공 현황과 서비스에 대한 시민들의 만족도를 검토하였다. 파주 SWC는 스마트폰 앱(명칭: 스마트워터케어)을 구

축하여 이용자가 거주하는 동네 및 아파트 저수조의 수질정보, 수도요금 및 물 사용 이력 정보 등을 실시간으로 확인할 수 있게 하였다. 또한, 물 관련 민원 및 워터코디 서비스 신청창을 제공하여 수도공급자와 간편하게 소통할 수 있게 하였다. 스마트폰 이외에도 일부 지역(한빛마을 8단지 1,062세대)에서는 가정 내 월패드(Wallpad)를 통해 실시간 수질 정보(수온, pH, 잔류염소, 탁도, 아파트 저수조 영상, 물 상식 등)를 검색할 수도 있었다. 이는 아파트 저수조에 설치된 수질계측기와 CCTV 정보를 홈 네트워크와 연결하여 제공하였다. 그러나 수도공급자인 K-water의 정보 제공은 적극적이었던데 반해, 수신자인 파주시민의 반응은 다소 소극적이었다. 이는 첫째, 공급자가 다양한 물 관련 정보를 제공했음에도 불구하고, 물 정보에 대한 시민들의 필요성이 적고, 둘째, 물 정보 변화에 대한 민감성이 낮기 때문으로 분석된다.

반면 오프라인에서는 가가호호 직접 방문하여 수질을 검사하는 워터코디 서비스와 옥내배관을 진단하고 세척하는 워터닥터 서비스를 제공하였다. 이러한 종합관리서비스(Total Care Service)는 SWC 사업과 함께 시작되어 사업이 종료된 현재까지 파주시 시민들에게 꾸준히 제공되고 있으며, 온라인 서비스보다 더 큰 가시적인 효과를 보여주고 있다. 예컨대, 파주시 시민이자 SWC 사업 초기부터 현재까지 워터코디로 활동하고 있는 관계자에 따르면, 본 서비스를 1회 이상 이용한 시민들은 수도물을 직접 음용하는 경우가 많았다고 말한다(Choi and Kim, personal communication, November 12, 2019)¹⁾.

이러한 서비스를 포함하여 SWC 사업이 제공하는 서비스와 수질에 대한 만족도는 설문조사를 통해서도 확인된다. 예컨대, 2014년 사업실시 이후, 사업의 서비스를 받아본 경험이 있다고 응답한 사람 1,050명을 대상으로 조사한 2015년과 2016년의 설문 조사를 비교한 결과, 평균 89.7%의 만족도를 보였다.

동일한 인원을 대상으로 한 설문 조사에서 사업 종료 시점의 수도물 수질에 대한 전반적인 만족도(맛, 냄새, 심미적 만족도 등)는 평균 86%에 달했다. 만족도 비율 역시 대부분 상승곡선을 보였는데 평균적으로 5.4%의 상승률을 나타냈다. 수질에 만족하는 이유로는 수도물이 깨끗하다는 점과 사용하기 편리하기 때문이라는 점이 주요 요인으로 꼽혔다.

마지막으로 수도물 음용으로 인한 피해가 발생하였을 때,

1) 2019년 11월 12일 K-water 파주시수도관리단의 두 명의 워터코디들과 100분간의 대면 인터뷰를 수행함. 주요 질문 내용은 워터코디 참여기간 및 동기, 활동내용 및 진행방식, 활동에 대한 소회 및 어려움, 서비스 수혜자들과의 상호작용(예: 소비자 반응, 질문, 만족도 등), 서비스 운영방식에 대한 건의사항 등.

보상받을 수 있는 수도물 안심보험 서비스(사고 당 최대 10억)를 실시하였다. 시민들이 수도물을 마음 놓고 마실 수 있는 환경을 제공하고 관련 민원을 저감하기 위함이었다. 그러나 파주 SWC 사업에서는 이러한 서비스 현황과 민원건수에 대한 집계는 진행되지 않아, 그 결과를 확인하기가 어려운 실정이다. 향후에는 안심보험서비스 제공 건수와 수용가 수 대비 연간 수질 민원 발생 건수를 집계함으로써 수도물 품질보증제에 대한 효과를 산출해보아야 할 것이다.

6. 결론

본 연구는 2014년부터 2016년까지 경기도 파주시에 도입된 SWMS의 효과성을 분석하였다. 분석 결과, SWMS가 공급과정의 수량 및 수질관리를 강화하고 수도물의 신뢰도 및 음용률을 제고하는데 기여하였음을 확인하였다. 구체적으로는 평균 유수율 및 누수저감량의 향상, 수질계측기 및 수질감시시스템의 확산, 잔류염소의 균등화 및 탁도 안정화, 배수관로의 부유성 입자농도 및 탁도 감소, 옥내급수관의 수질개선, 소독제 주입량 및 소독 부산물의 저감, 수용가 시설의 관리기준 수립, 수도물의 직접 음용률 제고, 수질의 실시간 확인 및 소비자 만족도 향상 등을 달성하였다.

특히, 사업 당시에 제공한 방문수질검사(워터코디), 옥내배관진단 및 세척 지원(워터닥터) 등과 같은 시민을 위한 적극적이고 집중적인 서비스를 사업 종료 이후 현재까지 지속적으로 수행함으로써 소비자들의 수도물에 대한 긍정적인 인식을 제고하고 있다는 점은 SWC 사업의 큰 효과로 볼 수 있다. 본 연구에서 살펴본 파주 SWC 사업 평가 지표 대부분은 긍정적인 결과 값을 보였는데, 이는 명확한 목표 설정과 달성을 위한 구체적인 실행 방안이 계획되었기 때문으로 분석된다. 그러나 향후 SWC의 발전을 위해서는 다음과 같은 점이 보완되어야 한다.

첫째, SWMS 개발의 목표는 서비스 제공자 중심이 아닌, 이용자의 필요를 우선하여 수립되어야 한다. K-water가 SWC에서 제공한 수질 정보스마트 앱의 경우, 물 관련 정보뿐만 아니라 이용자의 주변 지역 생활 정보를 포함하여 다양한 부가기능을 탑재하여 서비스하였음에도 불구하고 거주민들의 적극적인 호응을 가져오는 데는 실패하였다. 물 정보에 대한 주민들의 낮은 관심도와 민감성 때문에 대부분 일회성 접촉에 그치는 결과를 보였다. 그러나 현재까지 K-water는 지속하여 앱을 업데이트하고 수질 정보 제공 표준 플랫폼을 개발하고 있으며 이 과정에서 여전히 관리자 중심의 개발을 이어가고 있다. 스마트 앱의 효과성을 배가하고 앱을 통해 이용자와의 상호작용을 제고하고자 한다면, 앱을 구축하는 과정에서부터

지역주민의 의견을 청취하고 그들의 참여를 높이는 것이 요구 될 것이다.

둘째, SWC 확산을 위한 가이드라인이 보완되어야 한다. 파주 SWC 사업 이후, 현재 진행 중인 세종, 부산, 송산 SWC는 모두 파주 사례를 벤치마킹하여 추진되고 있다. 파주 SWC 사업 종료 직후, K-water는 2016년 10월 SWC 구축 가이드북을 발표하였는데, 향후 SWC 사업의 목표 및 효과검증지표로 파주 SWC 사업의 목표를 명시하고 있다(K-water, 2016a). 그러나 파주 SWC 사업에 대한 외부적인 평가는 부재하며 이러한 상황에서 SWC 사업의 선부른 답습은 유사한 결과를 가져올 확률이 높다. 특히, 후속 사업들은 기존 도시에 진행된 파주 SWC와 달리 스마트시티 건설과 함께 진행되고 있는 신도시 및 재개발지역이다. 즉, 사업지역의 환경과 규모 등이 다르며 다양한 도시 인프라와의 연계성 등을 고려한 더욱 정교한 목표가 필요하다.

셋째, SWMS와 SWC의 포괄적이고 더욱 구체적인 평가지표가 개발되어야 한다. 본 연구는 SWMS의 산출목표와 그 결과물의 분석을 통해 효과성을 평가하였다. 그러나 최근 대두되고 있는 사회적 가치(social value)와 같은 비생산적인 가치를 중요시하고(Waldo, 1980), 이를 담아낸 공공성 평가가 포함될 필요가 있다. 예컨대, SWMS의 경제·사회(거버넌스)·환경·기술적 측면의 효과와 나아가 지속가능발전목표(SDGs)의 달성에 기여하는지 등을 살펴보는 시도가 그 일환이라 할 수 있다(K-water and IWRA, 2018).

덧붙여, SWMS의 유지관리 분야 평가항목이 제외되었다는 점은 또 다른 지표의 한계점이다. 파주 SWC 사업은 시범사업인 만큼 유지관리의 중요성이 강조된다. 그럼에도 불구하고 지속적인 개선이 필요한 경우에 대한 평가와 대비가 부재하다. 예를 들어, 옥내급수 관세척 전후의 염소 값의 경우, 사업 전 대비 11.8% 증가하여 잔류염소 관리의 한계가 있음이 나타났다. 그러나 사업 종료 이후의 관리 현황을 확인하여 변화된 값을 집계할 수 있는 장치는 부재한 상황이다. 향후 SWC 사업에서는 종료 이후에도 SWMS의 효과를 확인할 수 있도록 유지관리 분야의 평가지표가 마련되어야 할 것이다.

본 연구는 한국 최초의 SWC 사업을 사업 목표를 중심으로 산출물을 분석하고 시사점을 도출하였다는 측면에서 의의가 있다. 국내 SWC의 확산에도 불구하고 성과 공유 측면에서 선도적인 파주 SWC 사업에 관한 기존 연구의 부재와 사업 주체인 K-water 중심의 연구를 고려할 때 본 연구는 고무적이다. 그러나 한정적인 자료와 산출물에 대한 계량화된 분석은 SWC의 긍정적인 변화를 야기하는 데 미친 다른 외부요인을 밝히는 데는 한계를 보인다. 향후에는 SWMS와 SWC가 물 관리의 스마트화를 넘어 시민의 삶의 질을 제고하고 나아가

지속가능한 도시 발전에 기여하는지와 같은 SWC의 장·단기적 영향과 효과를 살펴보는 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- Anthony, R.N. (1965). *Planning and control systems: a framework for analysis*. Division of Research, Harvard Business School, Boston, M.A., U.S.
- Architecture & Urban Research Institute (AURUM) (2020). accessed 20 April 2020, <<http://www.aurum.re.kr/Policy/PolicyOffice.aspx?pcode=K10>>.
- Brzozowski, C. (2011). "The 'smart' water grid: A new way to describe the relationship between technology, resource management, and sustainable water infrastructures." *Water Efficiency*, Vol. 6, No. 5. pp. 10-23.
- Choi, T.S. (2016). *Implementing an effective performance management system for local public enterprise*. Evaluation Institute of Regional Public Corporation.
- Dror, Y. (1971). *Ventures in policy sciences: concepts and applications*. American Elsevier Publishing Company, N.Y., U.S.
- Fischer, F. (1997). *Evaluating public policy*. Nelson-Hall Publishers, Chicago, I.L., U.S.
- Han, K.H. (2014). "Smart water grid." *Korean National Committee on Irrigation Drainage*, Vol. 54, pp. 52-57.
- Harbour, J.L. (1997). *The basics of performance measurement*. Productivity Press, N.Y., U.S.
- Harry, P.H., Richard, E.W., and Donald M.F. (1973). *Practical program evaluation for state and local government officials*. The Urban Institute Press, Washington D.C., U.S.
- Iim, D.H. (2017). The era comes when the ability to manage water is a national capability: 'Smart Water Grid', *Future Eco*, accessed 3 August 2020, <<http://www.ecofuturenetwork.co.kr/news/articleView.html?idxno=14760>>.
- Keeling, M., and Sullivan, M. (2012). *Fixing the future: Why we need smarter water management for the world's most essential resource*. IBM Global Business Services, N.Y., U.S.
- Kim, J.R. (2019). Accelerate the widespread of Korean smart cities, *ScienceTimes*, accessed 26 April 2020, <<https://www.sciencetimes.co.kr/news/%ED%95%9C%EA%B5%AD%ED%98%95-%EC%8A%A4%EB%A7%88%ED%8A%B8%EC%8B%9C%ED%8B%B0-%EB%B3%B4%EA%B8%89%C2%B7%ED%99%95%EC%82%B0-%EB%B0%95%EC%B0%A8/>>.
- Kim, M.S., and Ghong, B.C. (2013). *Performance management*. Kstudy.
- Kim, S.M. (2015). "Healthy water service, Smart Water City." *Journal of Water Policy & Economy*, Vol. 24, pp. 21-30.
- Koh, K.K. (2019). "Empirical analysis of efficiency improvement of public enterprise using Data Envelopment Analysis (DEA)." *Performance management in the public sector*, Edited by Park, S.A., Moonwoosa, pp. 401-438.

- Koo, H.R. (2015). "Does publicness reduce risks?: Examined across OECD countries." *Korea Social Policy Review*, Vol. 22, No. 1, pp.19-47.
- K-water and International Water Resources Association (IWRA). (2018). *Smart Water Management Case Study Report*.
- K-water (2014). *Master plan report for the Smart Water City*.
- K-water (2016a). *Smart Water City Guidebook*.
- K-water (2016b). *Final performance report for the Smart Water City pilot project in Paju City*.
- K-water (2016c). *A study on the comprehensive performance analysis of the Smart Water Management Initiative*.
- K-water (2019). *Operating results report: 'Safety Check on Tap Water in Our Home' in Paju in 2019*.
- K-water (2020a). *Action plan for smart pipe network management infrastructure construction project*.
- K-water (2020b). accessed 21 April 2020, <https://www.kwater.or.kr/busi/water02/smartWater01Page.do?s_mid=1864>.
- K-water (2020c). accessed 6 August 2020, <https://www.kwater.or.kr/busi/introWaterPlatformPage.do?s_mid=2014>.
- Lee, H.D., Lee, J.H., and Kwak, P.J. (2014). "Study on standardization method establishment of multi water-loop system using multi water resources." *Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal*, Vol. 21, No. 1, pp. 109-117.
- Lee, S.H. (2014). *The analysis of smart water grid related technology and policy trend*. Smart Water Grid Research Group.
- Lee, S.H. (2015). Smart water technology, Seoul Water, accessed 3 August 2020, <https://arisu.seoul.go.kr/arisu_center/center16/waterDream/dream201507/02_column02.html>.
- Lee, S.H. (2017). "Current understanding the setting and management of performance indicators in the public sector." *Performance management in the public sector*, Edited by Park, S.A., Moonwoosa, pp. 75-104.
- Lee, Y.K., and Lee, S.H. (2018). "A case study of smart water management technology in Korea: Based on conceptualization of smart city and smart technology." *Regional Policy Review*, Vol. 29, No. 2, pp. 149-183.
- Ministry of Education (MOE) (2010). *A study on development of performance indicators for effective performance management*.
- Ministry of Environment (ME). (2019a). *The first master plan of the development of water management technology and water industry 2019-2023*.
- Ministry of Environment (ME). (2019b). *Innovation for water supply management: Smart water management system completed in 2022*.
- Moises, J. (2015). Who builds a future city?, Goethe Institut, accessed 25 April 2020, <<https://www.goethe.de/ins/kr/ko/kul/dos/urb/20573444.html>>.
- National Environment Information Network System (NEINS) (2020). accessed 22 April 2020, <<http://www.neins.go.kr/ltr/balanceddevelopment/smart01.asp>>.
- Nikolaou, A.D., Golfinopoulos, S.K., Lekkas, T.D., and Arhonditsis, G.B. (2004). "Factors affecting the formation of organic by-products during water chlorination: A bench-scale study." *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 159, No. 1, pp. 357-371.
- Noh, H.J. (2015). *Policy evaluation 5th edition*. Bobmunsa.
- Office for Government Policy Coordination (OPC). (2016). *A study on improvement plan for performance indicators*.
- Paju Municipal Government (PMG). (2014). *The mid-long term development plan for Paju City*.
- Park, H. (2015). Introduction to public administration with Park: public policy in public administration (24th), The Law Journal, accessed 27 April 2020, <<http://www.lec.co.kr/news/articleView.html?idxno=35741>>.
- Presidential Committee on The Fourth Industrial Revolution (PCFIR) (2017). *The people-centered response plan for the 4th industrial revolution to promote innovative growth*.
- Presidential Committee on The Fourth Industrial Revolution (PCFIR) (2018). *Smart city promotion strategy for designing for urban innovation and future growth engine*.
- R&D Information Center (RDIC) (2017). *The analysis of smart water industry/smart water grid status and water resource/seawater desalination technology and market*. Knowledge Industry Innovation Institute.
- Usilaner, B., and Soniet, E. (1980). "Productivity measurement." *Productivity improvement handbook for state and local government*, Edited by Washnis, G.J., A Wiley-Interscience Publication, N.Y., U.S., pp. 91-114.
- Waldo, D. (1980). *The enterprise of public administration: a summary view*. Chandler & Sharp Publishers, Novato, CA, U.S.
- Water Innovations Alliance (WIA). (2012). *White paper: The water smart grid initiative*, CT., U.S.
- Won, J.M. (2012). *The urban regeneration theory and experience*. The Landscape.
- Yeo, I.G. (2019). South Korea throws her hat into the ring to take the lead in the rapidly growing global smart city market, Kharn, accessed 28 April 2020, <<https://www.kharn.kr/news/article.html?no=10781>>.
- Yim, J.I., Kim, Y.W., Kim, H.J., and Sohn, S.W. (2014). "Trend of smart water grid technology developments and standardization." *Electronic and Telecommunications Trends*, Vol. 29, No. 2, pp. 87-96.