Journal of Convergence for Information Technology
Vol. 10. No. 5, pp. 117-125, 2020
e-ISSN 2586-4440
DOI : https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2020.10.05.117

주방오물분쇄기 사용 및 수세분뇨의 직투입에 따른 「새로운 공공하수도 서비스」제공을 위한 투자사업의 비용과 편익 항목 식별

오현택[1], 박규홍[2], 김성태[3], 임병인[4*]
[1]청주대학교 경영학부 교수, [2]중앙대학교 사회기반시스템공학부 교수, [3]청주대학교 경제학과 교수, [4]충북대학교 경제학과 교수

Identifying Cost and Benefit Items of Investment Projects to Offer New Public Services By the Use of Food Waste Disposers and the Direct Input of Feces in Sewers

Hyun-Taek Oh[1], Kyoo-Hong Park[2], Sung Tai Kim[3], Byung In Lim[4*]
[1]Professor, Division of Business Administration, Cheongju University
[2]Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Chung-Ang University
[3]Professor, Department of Economics, Cheongju University
[4]Professor, Department of Economics, Chungbuk National University

요 약 본 연구에서는 정화조 폐기와 주방용오물분쇄기 사용으로 수세분뇨와 음식물찌꺼기가 공공하수관로에 직접 투입되는 「새로운 공공서비스사업」(이하 사업)시행과정에서 발생하는 비용과 편익을 식별, 제시한다. 본 연구는 기존 문헌과 공학적인 관점에서 사업시행 과정에서 처리분구(소구역)별 소요비용과 사업 완료 이후 편익을 객관적인 통계자료로서 식별, 제시하는 방식으로 수행한다. 비용과 편익을 식별한 결과, 비용항목들은 하수관로 시설(배수설비, 정화조 폐쇄·관로배치 변경 등), 수질보전(우수 토실·토구, 하수저류시설 등), 공공하수처리시설(침사지와 최초침전지, 고도처리시설 등) 등에서, 편익항목에는 악취제거로 인한 건강개선, 슬러지 처리효율 제고로 에너지 생산성 증가, 음식물쓰레기 처리비용과 정화조 처리 및 유지관리비용 절감, 기존 분뇨처리시설투자 축소 등이 식별되었다. 이상의 비용과 편익항목들은 향후 사업 시행 여부를 결정하는 경제성 분석의 기초 자료로 활용될 것이다.

주제어 : 새로운 공공서비스사업, 정화조, 수세분뇨, 주방용오물분쇄기, 비용편익분석

Abstract Our study identifies a cost and a benefit incurred in implementing an investment project to offer new public services by use of food waste disposers and direct input of feces in sewers. This is done with identifying costs of each processing division and benefits of the project by objective statistical data and engineering perspective. In summary, cost items identified are as follows: there are house laterals, removal of septic tanks, etc. for sewer pipes system. As to water quality conservation, cost incurs in storm water outfalls and divert chambers, sewage storage tanks, equipment to treat sewer overflows, and so on. With respect to sewage treatment plants(STPs), there are so many items as increase of contaminant loads in influent of STPs, and other items. There are benefit items in health improvement due to odor mitigation, increase of energy productivity, saving cost of food waste treatment and cleaning septic tanks, etc. These estimates will be used as a basic data for its economic effect.

Key Words: Investment Projects for New Public Services, Septic tank, Feces, Food waste disposer, Cost-benefit analysis

*This research was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) Grant funded by the Ministry of Science and ICT for convergent research in Development program for convergence R&D over Science and Technology Liberal Arts(NRF-2017M3C1B6070097)
*Corresponding Author : Byung In Lim(bilforest@gmail.com)
Received April 10, 2020 Revised May 3, 2020
Accepted May 20, 2020 Published May 28, 2020

1. 연구의 필요성과 목적

국민의 생활수준 향상과 보건환경에 대한 국민의 관심이 높아짐에 따라 주거환경에 대한 개선 요구가 점점 증대하고 있다. 현재 우리나라의 하수도보급률은 2018년 기준으로 93.9%에 달하고 있지만, 주거환경 문제 중 하수도와 밀접하게 관련된 것으로 하수처리구역 내에 정화조 존치로 발생하는 악취와 음식물 찌꺼기 수거로 인한 생활 불편이 주요 문제점으로 계속 제기되어왔다.

악취문제는 우수와 오수를 동일한 관로로 배제하는 합류식하수도지역에서 정화조를 없애고 수세분뇨를 직접 공공하수관로에 투입하는 것으로 해결이 가능하다. 이 경우 분뇨수거차량이 없는 도시환경도 조성될 수 있다. 참고로 합류식 하수도체계를 갖추고 있는 서울시에는 50인조 이상 정화조가 약 50만개나 존치하고 있어 정화조의 오수펌프를 가동해 하수관으로 보낼 때 심한 악취를 발생시키는 것으로 보고되었다[1]. 지난 20여년간 전국적인 하수관로정비사업을 통해 기존의 합류식 하수관로를 분류화한 분류식하수도지역(우수와 오수를 별도의 관로로 배제)에서는 정화조를 없애는 대신 수세분뇨를 공공하수관로로 직접 투입하는 공공하수도서비스의 부분적인 개선이 이루어졌다. 오현택 등(2019)은 합류식하수도 지역에 새롭게 설치되는 대형건축물에 정화조를 설치하는 대신 전용오수관로를 설치하여 하수처리시설에 직접 연결하여 처리하는 사례의 비용편익분석으로써 하수도서비스제고 사업의 경제적 타당성을 제시한 바 있다[2].

한편, 주방용오물분쇄기 사용이 가능한 하수도시스템 구축으로 새로운 하수도 서비스에 대한 국민들의 욕구를 충족시킬 필요성도 계속 제기되어 왔다. 현재 하수도법 제33조 및 같은 법 시행령 제23조에 따르면, 주방에서 발생하는 음식물 찌꺼기 등을 분쇄하여 오수와 함께 배출하는 주방용오물분쇄기의 판매와 사용은 금지되어 있다. 그러나「전기용품 안전관리법」제3조에 따라 안전인증을 받은 경우에는 하수도법 제2조 제15호에 의한 하수처리구역 내 일반가정과 하수처리구역 외 지역 중 개인하수처리시설(오수처리시설만 해당)이 설치된 일반가정에 한해 판매·사용할 수 있다[3].[1] 하지만, 일부 홈쇼핑 방송과 온라인 판매점에서 음식물찌꺼기를 전량 공공하수도로 배출해도 되는 것처럼 안내하는 등 소비자에게 정확한 정보를 제공하지 않아 혼란을 일으키고 있으며, 일반가정에서만 사용가능하여 단속이나 적발이 쉽지 않은 상황이다. 해외에서 직접 구입한 2차 처리기가 없는 불법 제품도 사용되고 있으며, 국내 제품도 실제 설치할 때 2차 처리기를 떼고 불법으로 설치하고 있는 실정이다.

합법적인 주방용오물분쇄기 처리방식은 1차 처리기를 통해 전체 음식물쓰레기의 최대 20%만 분쇄해 공공하수도로 흘려보내고, 2차 처리기에 모인 나머지 80%의 음식물찌꺼기는 기존의 방식대로 종량제 봉투에 버리는 것이다. 합법적 주방용오물분쇄기에 대한 추가 비용 지불 의사가 있음에도 불구하고 공동주택이 많은 우리 주거환경에서 여전히 음식물찌꺼기 분리수거라는 불편은 해소되지 않고 있으며, 불법사용 유혹, 의혹, 우려가 계속 이어지고 있다.

이상의 두 문제는 정화조를 없애고 주방오물분쇄기를 적용하여 수세분뇨와 주방분쇄오물 100%를 공공하수관로에 직접 투입하는 방식으로 해결할 수 있을 것이다. 이 경우, 하수관로, 강우시 하수의 월류로 인한 방류수역의 수질 보전, 하수처리시설의 측면에서 수용가능 여부를 기술적으로 진단함으로써 하수관로의 경사 개선, 하수저류시설 설치 등을 통한 합류식하수관로의 월류수 문제 해결, 하수처리시설의 처리용량 확대 및 시설 고도화 등의 새로운 투자가 공공 부문에서 이루어져야 한다.

한편, 서울시(2019)의 하수도정책포럼에서는 수세분뇨와 음식물찌꺼기의 공공하수관로 직투입시 물재생센터 측면에서 발생할 수 있는 문제점으로 하수관로 내 침전물 퇴적량 증가로 잠재적인 수질오염물질화, 물재생센터 유입수가 설계수질을 넘어 유입하는 것에 따른 처리공정과 운전조건의 변경, 고형물인 음식물찌꺼기 액상화로 물재생센터에 유입된 후 재응집, 미생물 섭식 등 처리과정을 거치면서 고형화되는 하수처리의 비효율성 등을 지적하고 있다[5]. 그럼에도 불구하고 2040년을 계획목표년도로 하수도정비계획을 수립할 때, 하수관로, 차집관로, 물재생센터의 부하량과 용량을 종합적으로 검토 후, 서울의 물재생센터 신증설을 고려한 분뇨 및 음식물찌꺼기 직투입 계획 수립을 요구하였다.

한편, 김성태 등(2019)은 수세분뇨의 공공하수관로 직투입으로 인한 스마트 하수관로 구축사업의 경제성

1) 정해진 시험방법에 따라 음식물찌꺼기가 고형물 무게 기준으로 80%이상 회수되거나 20% 미만으로 배출되는지를 확인하는 제품시험을 통과한 제품을 인증해주는 제도를 운용하고 있다[4].

분석 필요성을 제기하면서 그 기초 작업으로 경제적 파급효과 분석을 수행한 바 있다[6]. 그런데 김성태 등(2019)은 하수관로시설에 유속, 수위, 황화수소 등을 탐지하기 위한 센서를 설치하고 그 센서에서 취득한 데이터를 서버로 연결해 수집된 정보를 분석해 상류부에서 관로 세정수를 흘려보내는 방식과 방류수역에 가까운 하류부에서는 하수저류시설 등을 설치하는 스마트 운영관리사업을 전제하였다[6].

문제는 수세분뇨를 공공하수관로에 직접 투입하는 새로운 서비스를 제공할 경우에는 하수관로 시설뿐만 아니라 하수처리시설에 현재 상태보다 훨씬 큰 오염부하량이 유입되어 하수처리시설의 용량확대 등의 추가적인 시설투자가 필요하다는 것에 있다. 따라서 본 연구에서는 정화조를 없애고 주방용오물분쇄기 사용이 가능한「새로운 공공서비스」를 제공, 즉 수세분뇨와 음식물찌꺼기를 공공하수관로 직접 투입함으로써 발생할 수 있는 하수관로시설의 추가 정비와 하수처리시설의 신증설 사업, 강우시 합류식하수관로의 월류수 대책 사업에서 비용편익분석에 필요한 비용 및 편익 항목을 식별, 제시하는 것에 목적이 있다.

본 연구의 구성은 서론에 이어 연구방법을 개괄하고, 3장에서 새로운 공공하수도 사업의 비용항목들을, 4장에서는 동 사업의 편익항목들을 식별한 뒤 그에 대해서 상술한다. 5장 결론에서는 식별된 비용과 편익항목들을 요약, 정리한다.

2. 연구방법

본 연구에서는「새로운 공공하수도 서비스 제공을 위한 투자사업」과정에서 필요한 비용과 편익항목을 식별, 제시한다. 구체적으로는 수세분뇨 및 음식물찌꺼기의 공공하수관로 직투입을 계획할 때, 처리분구(소구역)별 직투입 가능여부 판단시 하수처리시설의 여유 용량 및 소요부지를 검토하되, 이미 수세분뇨를 직투입하고 있는 지역의 현황을 파악하고 이에 따른 하수처리시설의 적정 처리방안을 수립하여야 한다. 이에 처리분구 특성에 따라 세부적인 비용과 편익에 대한 상이한 분석이 이루어져야 할 것이다.

이를 위해서 기존 연구결과와 공학적인 관점의 사업 진행과정을 제시하면서 각 구성요소들에서 파악할 수 있는 비용과 사업 종료 이후에 나타날 수 있는 편익을 식별하는 방법을 취한다. 식별과정은 객관적으로 논의하면서 통계청 제공 통계를 비롯한 객관적인 자료로써 증빙을 시도한다.

3. 새로운 하수도 서비스로 인한 시설개선사업 유형에 따른 비용 항목[2)]

3.1 하수관로 시설

3.1.1 배수설비

배수설비는 가정 또는 사업장 등의 건물에서 발생한 오수를 공공하수관로에 연결하기 위한 오수배제설비를 의미한다. 주방배수, 목욕배수, 화장실배수, 세탁배수 등 다양한 용도별 배관과 옥내배관과 옥외배관이 필요하다. 수세분뇨와 음식물쓰레기를 직투입하는 경우, 화장실과 주방에 연결된 배관에서 찌꺼기의 퇴적과 부착이 일어날 수 있으며 이로 인해 악취가 발생할 수 있다. 따라서 옥내배관 중 횡지관과 횡주관의 최소경사와 최소유속 확보가 필요하며, 배수관의 내열성, 청소구 확보, 완만한 굴곡부 및 연속 굴곡부의 직선거리 확보 등이 필요하다. 옥외배관의 최소경사, 최소유속, 통수능도 확보되어야 한다. 특히, 공동주택의 경우 옥내배관의 막힘이나 퇴적이 발생하지 않도록 기존 방식의 설계보다 급한 경사도의 정교한 설계가 이루어져야 하며, 층간 천정, 바닥의 두께가 증가될 경우, 추가적인 비용이 발생할 수 있다.

3.1.2 정화조 폐쇄 및 관로 배치 변경

기존주택에서 수세분뇨를 공공하수관로에 직접 투입하는 경우에는 정화조로 연결되어 있던 기존의 화장실 배수관로를 공공하수관로에 직접 연결되도록 하는 배수관로 배치 변경의 공사가 필요하다. 이 때 단독주택, 공동주택 등 주택의 유형에 따라 공사비가 다를 것이다. 기존 정화조는 필요없으므로 파내어 폐기해야 하는데, 이에 따른 비용도 발생할 것이다. 기존의 정화조를 빗물이용시설 등으로 재활용할 수 있으나, 정화조 탱크 청소 비용, 빗물이용을 위한 추가적인 배관비용 등이 발생할 수 있다. 신설주택에서는 정화조 설치를 위한 비용이 발생되지 않을 것이며, 배관의 배치를 달리하고 오수받이를 거쳐 공공하수관로로 연결하는 설계가 이루어지면 되므로 비용상승 요인은 크게 없을 것으로 보인다.

2) 비용은 각 비용 항목에서 논의되는 내용들과 관련되기에 구체적인 설명은 생략한다.

3.1.3 지선관로 및 간선관로, 맨홀

공공하수관로의 경우, 최소유속 0.6m/s를 유지할 수 있는 관 경사를 확보해야 한다. 이는 이론적으로 관경, 수량, 수위, 조도계수 등 여러 조건에 영향을 받지만, 실제 관로의 시공상태(경사부족, 역경사, 타관통과, 장애물 존치, 이음부 불량 등), 노후도 등에도 크게 영향을 받는다. 관로상태에 따른 하수관로 정비사업이 선제적으로 꾸준히 진행되어야 하는데, 수세분뇨 및 음식물찌꺼기의 직투입시에도 하수관로정비사업은 지속적으로 수행해야 할 필수적인 사업이다.

하수관로는 자연유하식으로 설치되는 경우가 많은데 처리구역, 배수구역의 규모가 커서 관로 연장이 매우 긴 경우 하류부로 유하되면서 충분한 관 경사의 관로를 설치하지 못하여 유속이 저하되는 경향이 있다. 또한, 관로의 연속성 때문에 어느 특정 부분만 경사를 개선하기 어려운 경우가 많다. 그런 경우에는 기존에 사용해 오던 주기적인 관 세정작업도 꾸준히 수행해야 할 것이나, 김성태 등(2019), 박규홍 등(2019)에서 제시된 바와 같이 센서로써 수위와 악취를 감지하여 상류부의 저류조(빗물저류조, 잡배수저류조 등) 등을 제어하여 관로를 세정하는 스마트 플러싱 기술을 적용함으로써 하수 흐름을 원활하게 유지할 수 있을 것이다[6,7].

3.1.4 펌프장

하수관로에서는 분뇨 및 음식물쓰레기가 이미 분쇄되었거나 용해되어 유체와 같은 거동을 하며 흘러 내려오므로 펌프장의 특정부위에서 하수흐름이 정체될 경우 하수퇴적물이 발생할 수 있어 침전방지, 재부유 및 균일화를 위한 교반시설이 필요하거나, 별도의 장치가 필요한지 검토해야 한다. 하수흐름이 정체될 경우, 물 표면에 스컴이 증가할 수도 있으므로 이에 대한 제거장치도 고려해야 한다. 또한 하수퇴적물과 스컴의 증가에 따라 펌프장 내 악취저감장치, 펌프장내 모든 시설의 부식저감장치가 더 강화되어 설치될 필요가 있다.

3.2 합류식 하수관로의 월류수로 인한 공공수역의 수질 보전

3.2.1 우수토질 및 토구

강우시 합류식 하수도 월류수가 발생하는 우수토실 및 토구의 정비가 필연적으로 요구된다. 강우시 토구를 통해 월류되는 수량 및 연간 빈도 계측이 필요하다. 이때 고가의 전자식 장치는 폭우시 유실될 우려가 있으므로 기계식 또는 원거리 CCTV로 수위계측을 통한 월류수량 추정 방식을 활용방안을 고려할 필요가 있다. 또한 공공수역으로 분뇨 및 음식물찌꺼기가 월류되는 것을 줄이기 위한 하수저류시설 및 월류수의 간이처리를 위한 투자가 필요하다.

3.2.2 하수저류시설 및 월류수 간이처리장치

강우시 합류식 하수도 월류수가 공공수역으로 월류되지 않도록 하수저류시설을 설치할 필요가 있다. 기존의 유수지, 빗물펌프장 주변의 유휴부지를 활용할 수 있다. 강우시 하수저류시설에 저류한 하수는 비가 그친 후 하수처리시설에 보내어 처리해야 하므로 하수처리시설의 여유용량이 별도로 확보되어야 한다. 그런데 이미 포화상태에 이른 도시에서는 하수저류시설을 설치할 넓은 공간 확보가 어렵다. 이 경우, 장치형 월류수 간이처리시설을 활용하기도 한다.[3)]

3.2.3 차집관로 스마트 계측제어시스템

보통은 여러 간선하수관로를 통해 차집관로로 유입되도록 설계되어 있으나, 강우시 상류부의 차집관로가 거의 채워진 경우에 하류부에 차집관로에서는 하수를 수용하지 못하고 우수토실을 통해 공공수역으로 대부분의 하수를 월류시킬 수밖에 없다. 강우시에 각 간선관로의 말단에 수질 및 수위 측정계를 설치하여 오염농도가 큰 하수의 적정량을 차집관로에 수용하도록 차집관로 스마트 계측 제어시스템을 설치하는 사업을 시행할 필요가 있다.

3.3 공공하수처리시설

3.3.1 유입하수 오염부하량 증가

수세분뇨 직투입은 하수처리시설의 오염부하량을 증가시킨다. 오염부하량 변화는 해당 처리구역의 인구, 평균하수량, 가정오수 및 분뇨의 오염물질 항목별 오염부하량 원단위, 정화조의 오염물질 항목별 처리효율 등을

3) 이 경우, 도시의 기존 기반시설에 큰 영향을 주지 않는 대심도의 하수저류시설 설치를 검토할 필요가 있다. 실제로 대심도 하수저류시설은 시카고, 런던, 동경 등의 합류식하수도를 갖추고 발전해온 오래된 도시에서 설치하여 활용하고 있다. 따라서 이를 설치할 경우, 투자비용이 대규모로 소요될 수 있다.

조사하여 추정할 수 있다. 참고로 수세분뇨 직투입을 시행할 경우, 서울시 중랑물재생센터의 유입수질의 변화를 추정한 결과를 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Expected change of influent quality in Chung-rang Water Reclamation Center by direct input of feces

Classification	Before direct input of feces		After direct input of feces		Increment (%)
	Contaminant loads (kg/day)	Conc. (mg/L)	Contaminant loads (kg/day)	Conc. (mg/L)	
BOD	170,059	152.3	208,033	186.3	22.3
COD	85,855	76.9	118,876	106.4	38.5
SS	132,084	118.3	181,616	162.6	37.5
T-N	45,074	40.4	49,532	44.3	9.9
T-P	4,920	4.4	5,614	5.0	14.1

Note: Seoul(2019)[5]

Table 2. Expected change of influent quality in Chung-rang Water Reclamation Center due to the allowance of food waste disposer (FWD) use*

Classification	Before using FWD		After using FWD		Increment (%)
	Contaminant loads (kg/day)	Conc. (mg/L)	Contaminant loads (kg/day)	Conc (mg/L)	
BOD	170,059	152.3	182,607	163.4	7.4
COD	85,855	76.9	99,228	88.8	15.6
SS	132,084	118.3	139,019	124.4	5.3
T-N	45,074	40.4	45,569	40.8	1.1
T-P	4,920	4.4	5,415	4.8	10.1

* In case food waste of 250g of food waste per capita·day are used, water content 80% and specific gravity 1 in waste passing FWD are assumed.
Note: Seoul(2019)[5]

음식물분쇄물을 20%미만으로 배출한다는 가정 하에 음식물분쇄물의 오염부하 원단위[8], 음식물분쇄물 배출에 따른 오염부하 원단위[9] 등을 활용하여 중랑물재생센터의 유입수질 변화를 추정한 결과를 Table 2에 제시하였다. 결과적으로 정화조 폐쇄를 통한 분뇨의 직투입, 디스포저 도입으로 음식물 분쇄물의 직투입시 BOD 29.7%, COD 46.5%, SS 47.6%, T-N 11.0%, T-P 24.2% 증가가 예상된다. 이를 줄이기 위한 시설투자비용도 고려해야 한다.

3.3.2 침사지와 최초침전지

하수관로를 유하하는 동안 수세분뇨와 음식물찌꺼기는 분쇄, 용해되어 물과 같은 거동을 했을 터이지만, 하수처리장에 유입되어 유속이 느린 침사지를 거치면서, Table 1과 Table 2에 제시된 SS농도와 부하량 증가에서 볼 수 있듯이 무거운 부유입자들이 가라앉으면서 침전량이 증가할 것이다. 응집제 투입을 통해 응집조 및 응결조를 거쳐 최초침전지에 유입되면 고액분리가 본격적으로 이루어져 수세분뇨와 음식물찌꺼기로 인한 슬러지량이 증가할 것으로 예상된다. 이로 인한 침전조의 제거율의 변화가 생겨 운영자들의 추가적인 주의가 필요할 것이다. 슬러지 스크레이퍼 및 호퍼의 유효 작동과 용량을 검토하고, 필요시 이러한 시설에 대한 보강이 필요할 것이다. 생슬러지의 성상이 변화하게 될 것이고 슬러지량이 증가하면 배관 용량을 검토하여 필요시 슬러지 이송을 위한 배관공사도 추가될 수 있을 것이다.

3.3.3 고도처리시설

하수고도처리의 효율을 제고하기 위해서는 하수 내 오염물인 유기물, 질소, 인 성분의 구성비가 적정해야 미생물 성장이 충분히 이루어져 오염물 제거가 원활하게 이루어진다. 하지만, 우리나라의 하수처리장의 약 50%는 빈부하 또는 부영양화로 외부탄소원이 필요하며, 이런 경우 외부탄소원 공급을 위해 메탄올이나 초산을 별도로 주입하기도 한다. 하수처리장의 빈부하 운전은 미생물 생태 유지가 매우 어려우므로 수처리와 유지관리가 어려워진다. 부영양화 원인물질인 질소와 인을 제거하기 위해서는 충분한 탄소원이 필요한데 부족한 탄소원 보충을 위해 국내 중대형 하수처리장 207개소 중 약 86개소는 외부탄소원이 필요하며 메탄올 기준으로 연간 12만톤이 요구된다.

수세분뇨와 음식물찌꺼기가 하수처리장으로 유입됨으로써 유기물, 질소, 인의 부하량이 늘어나면서 Table 1과 Table 2와 같이 구성비율이 변하고, 그에 따른 유기물, 질소, 인의 제거율도 달라질 것이다. 이로 인한 변화에 대해 하수처리장의 운영자는 기존 방식과는 다른 새롭고 추가적인 운영방식 강구 및 훈련 등이 필요하게 될 것이다. 더 높은 수준의 전문교육을 받은 기술자의 채용과 지속적인 운영유지 교육프로그램의 강화 비용이 추가될 것이다.

3.3.4 생물반응조 및 최종침전지

최초 침전지에서 미처 제거되지 못한 수세분뇨 및 음식물찌꺼기로 인한 추가적인 용해성 유기물은 생물반응조에 유입되어 제거율 변화를 초래하게 될 것이다. 미생물은 유입유기물농도 변화에 어느 정도 대응할 능

력을 갖추고 있으므로 큰 문제가 되지 않을 수도 있으나, 고형물체류시간 감소, 소요 산소량 증가가 요구될 수 있으므로 운영자 입장에서는 추가적인 주의가 필요하며, 필요시 산기장치(Air blower)의 추가설비 투자가 이루어져야 할 것이다.

유입되는 유기물 부하량의 증가, 미생물 농도 증가로 인해 잉여슬러지량이 증가하고, 슬러지의 성상도 변화할 것이다. 슬러지 스크레이퍼 및 호퍼의 유효 작동 및 용량에 대한 검토가 필요하고, 때에 따라서 이 시설에 대한 보강이 필요할 것이다.

3.3.5 슬러지 탈수, 건조, 농축, 소화

슬러지 탈수를 위한 탈수기 운전시간이 증가하게 되고, 슬러지 탈수성의 변화가 예상된다. 더 많은 탈수기가 필요할 수 있고, 탈수기의 사용연한이 짧아질 가능성이 높아 탈수기 부품의 교체가 자주 이루어져야 할 것이므로 이에 대한 비용을 고려해야 할 것이다.

슬러지 농축조에서는 고형물 부하가 증가할 것이고, 슬러지 침강성, 농축성에 변화가 생기게 될 것이다. 슬러지 농축조의 용량 증대를 위한 시설 투자가 필요할 개연성이 높다. 이에 따른 운영상의 주의도 필요하다.

슬러지 소화조를 갖춘 대형 하수처리장에서는 소화율이 변화하고, 소화가스의 발생량이 증가할 것이 예상되므로 소화조의 증설에 대한 투자가 필요하다.

3.3.6 슬러지 처분 및 재이용

슬러지의 처분을 위해 소각하는 경우에는 소각로의 운전시간 증가, 슬러지 소각효율 변화가 예상된다. 이로 인한 슬러지 소각 비용 상승 요인이 있다.

슬러지를 자원화하여 토양개량제 등으로 활용하는 경우의 유효이용량을 늘려나가는 방향으로 발전해가야 하지만, 우리나라에서는 아직 이런 활용사례는 활발히 이루어지지 않고 있다. 결국 마지막 단계에서도 남게 되는 슬러지(소각재 포함)는 폐기물매립지에서 매립 처분하게 되는데, 그 처분량이 증가하여 이것도 비용상승의 요인으로 작용하게 될 것이다.

4. 새로운 하수도 서비스로 인한 편익 항목

4.1 악취제거

새로운 공공하수도 서비스가 필요한 것은 악취 제거가 가능하기 때문이다[10]. 이제 하수도와 관련한 악취 발생원을 간단하게 살펴본다. 정화조와 같은 정화시설(개인오수처리시설)과 생활하수, 분뇨를 들 수 있다. 생활하수에는 유기물과 황화합물, 질소 화합물, 인화합물 등이 다량 함유되어 하수처리장에 도달하기 전에 부패하여 악취물질이 생성된다. 환경부 하수관거 악취 측정 매뉴얼[1]에 의하면, 생활하수가 유입되면서 하수관 벽에 점착물이 증가되고 하수도 내에 슬러지가 침적되면 황산염 환원 박테리아의 성장이 촉진되는데 그것이 하수관망 내에서 H_2S 생성의 원인이 된다. 하수관거 내의 H_2S가 방출되면서 악취가 발생한다[11].

분뇨는 2010년 환경부 하수관거 악취 측정 매뉴얼(안)에 따르면[11], 분해과정에서 인돌이 다량 발생하여 분해되지 않으면서 악취가 나온다. 악취가 제거될 경우, 불쾌감이 사라지거나 건강 개선 편익이 발생할 것이다.

환경부(2003)에 따르면, 수질, 대기, 폐기물, 소음 진동 악취 등의 종합적 환경오염저감비용의 소득계층별 분담액을 최저소득계층 25,152원, 최고소득계층은 106,106원인 것으로 추정하였다. 이에 근거하면, 악취 제거로 인한 국민 1인당 부담액을 추정할 수 있다[12].

4.2 음식물쓰레기 처리비용 절감

음식물찌꺼기를 공공하수관로에 직투입할 경우, 가구당 음식물찌꺼기 배출시 사용해야 하는 음식물 전용 용기 납부필증(스티커) 구입액도 절감될 것이다.

Table 3. Sales and Sales Volume of Food Waste Bag under Volume-rate Garbage Disposal System

Classification	2014	2015	2016	2017
Sales (Thousand Sheet)	466,544	473,971	454,615	436,623
Sales Amount (Million Won)	164,981	158,514	175,708	190,783
Collection (ton)	342,091	938,330	976,088	992,080
Amount Collected (Million Won)	-	65,271	67,587	75,409

Table 3의 납부필증(스티커) 판매액과 판매량 통계를 보면, 2015년 714.24억원(약 5,754만 매), 2016년 846.25억원(약 5,762만 매), 2017년 932. 28억원(약 5,917만 매)에 이른다. 아울러 음식물처리차량 관련 비용도 절감될 것이다.

4.3 정화조 설치비용 절감

정화조는 개인 분뇨 처리시설의 일종으로 대부분의 주택과 건물에 설치되어 있다. 정화조는 지하펌핑식과 자연유하식으로 구분되며, 기본적인 사항 및 설치기준은 구조가 2~4조로 직렬로 연결되어야 하고, 용량은 기본 5인 1.5 ㎥ 이상이고, 5인당 0.5 ㎥씩 증가해야 하며, 처리대상 오수를 모두 처리할 수 있는 규모 이상이어야 한다.

4.4 정화조 유지관리비용 절감

정화조는 수세식 화장실에서 나오는 분뇨를 정화하여 하수도로 보내는 수질오염 방지장치이다. 정화조는 설치용량보다 사용인원이 상당히 적은 경우에도 연1회 이상 청소해야 한다. 청소비용은 지자체마다 다른데, 기본요금과 추가요금으로 구성된다. 예를 들어, 서울시 관악구청의 경우 2020년 초 기준으로 기본요금(0.75톤까지) 22,500원, 추가요금은 0.75톤 이후 0.1톤당 2,120원이다.

정화조가 없을 경우, 현재와 같이 분뇨수거차가 다니면서 수거한 분뇨를 처리하기 위한 시설도 불필요하므로 분뇨처리시설 추가설치비용이 절감되는 편익도 발생하게 된다.

4.5 기존 분뇨처리시설의 투자 불필요

합류식하수도지역에서는 정화조에서 수거한 분뇨를 별도의 분뇨처리시설에서 처리해왔다. 경우에 따라 분뇨처리시설의 처리수를 다시 하수처리시설로 유입시켜 재처리하기도 한다. 이미 오랫동안 사용해서 노후화된 분뇨처리시설의 경우 증설 또는 신설 등의 투자가 필요하지만, 수세분뇨의 공공하수관로 직투입이 이루어질 경우에는 분뇨처리시설이 더 이상 필요없고, 하수처리장에서 일괄적으로 처리될 수 있어 투자의 효율성이 제고될 것으로 기대된다.

4.6 슬러지 처리효율 제고를 통한 에너지 생산성 증가

주방용 오물분쇄 후 하수직투입과 수세분뇨 직투입에 따른 하수처리시설의 오염부하량이 증가할 경우, 이를 처리하기 위한 하수고도처리시설이 확충된다면 슬러지 처리효율 제고를 통한 에너지 생산성 증가를 예상해 볼 수 있다. 2017년 말 기준 국내 하수처리장에서 발생되는 하수 찌꺼기는 11,432톤/일로써 재활용(56.8%), 소각(19.0%), 매립(15.3%), 기타(8.8%) 등에 의해 처리되고 있다. 2017년 기준 전국 656개 공공하수처리시설 중 혐기성 소화조가 설치된 하수처리장은 Table 4에서 보듯이 총 61개소이며 소화조 시설용량은 1,329천톤(/일)이다.

Table 4. The number of anaerobic sludge digesters constructed at water reclamation plants

Sum	Capacity of sludge digester (ton/day)				Types of sludge digesters	
	≥ 500,000	100,000~ 500,000	5,000~ 100,000	<5,000	Sphere shape	Egg shape
61	7	24	9	21	52	9

Note: based on 2017[13]

총 소화 가스발생량은 535,314㎥/일로 설계 가스발생량(484,181㎥/일) 대비 약 110.6%의 소화 가스가 생산되어 소화조 가온 및 발전, 가스 및 온수 판매 등으로 활용되고 있다.

Table 5. Generation and use of gas digested in Nanjee Water Reclamation Center

Year	Gas produced (1,000㎥/day)			Gas used (1,000㎥/day)					Remnant (1,000㎥/d)
	Sum	#1	#2	Sum	local heating	Food waste	Dry	Burn	
'18	37.6	22.7	14.9	26.6	6.4	6.5	13.8	0.011	10.9
'17	35.3	20.7	14.6	28.7	8.0	6.4	14.1	0.212	6.6

Note: Seoul(2019)[5]

서울시의 난지물재생센터에서는 소화 가스를 한국지역난방공사(주)와 서대문구 음식물처리시설에 공급·판매하는 바이오가스 에너지 사업을 하고 있다. 한국지역난방공사는 난지물재생센터에서 발생된 소화가스를 이용하여 발전시설을 운영하며 이에 따른 가스사용료를 난지물재생센터에 납부한다. 한국지역난방공사는 난지물재생센터에 15,600m^3/일에 해당하는 소화조 가온열을 공급하고, 그 외 잉여량에 대해서는 별도의 판매를 통해 수익을 창출하고 있다.

5. 결론

지금까지 논의되었던 새로운 공공하수도 서비스 제공을 위한 투자사업 과정에서 필요한 처리분구별 비용과 동 사업이 시행될 경우 발생할 수 있는 편익항목들

을 요약해 보면 Table 6과 같다.

Table 6. Summary of Cost and Benefit Items for the New Sewerage Project

Cost Items		Benefit Items
Facilities	Cost Details	
Sewer pipes system	- House laterals - Removal of septic tanks; Change of sewer layout - Trunk sewer and branch sewers; Manholes - Pumping stations	- Odor mitigation - Saving food waste treatment cost - Saving cleaning cost of septic tanks - Saving O&M cost of septic tanks - No need of additional investment on the existing feces treatment facilities - Increase of energy productivity due to improved sludge treatment efficiency
Water quality conservation in receiving water bodies	- Stormwater outfalls and divert chambers - Sewage storage tanks; Simple equipment to treat sewer overflows in rainfall periods - Smart sensors and control system in intercepting sewers	
Sewage treatment plants (STPs)	- Increase of contaminant loads in influents of STPs - Grit chambers; Primary sedimentation tanks - Advanced treatment processes - Bioreactors; Final clarifiers - Sludge dewatering; Drying; Digesters; Concentrators - Sludge Disposal and Reuse	

이상과 같이 살펴본 바와 같이 식별된 비용과 편익 항목에 근거하여 향후 하수도시설 관련 기술들의 발전 상황을 고려한 비용 항목들의 구체적인 금액을 추정하거나 제한된 지역과 상황을 가정한 종합적인 비용-편익 분석을 추정하는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 아울러 새로운 공공하수도 서비스 제공을 위한 투자 사업이 시행되는 것을 전제로 전·후방산업의 파급효과 분석 연구도 필요할 것이다.

REFERENCES

[1] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. (2014). *Development of Odor Control Technology and Policy Making in Sewer Pipe*. Goyang : KICT.

[2] Oh. H, S. Kim, B. Lim, B. Kang & K. Park. (2019). A Case Study on Cost-Benefit Analysis of the Septic Tank and Exclusive Sewage Pipe Line in Designing the large Building at Combined Sewer District. *Journal of Digital Convergence, 17(6),* 169-175.
DOI : 10.14400/JDC.2019.17.6.169

[3] Ministry of Environment. (2013). *Notification 2013-179 Prohibition of Sale and Usage of Food Waste Disposer.*

[4] Korea Association of Water and Wastewater. (2014). *Summing-up of Operation of Certificate System of Food Waste Disposers.*

[5] Seoul. (2019). *Final Report on Sewerage Policy Forum.*

[6] S. T Kim, B. I. Lim, H. T. Oh & K. H. Park (2019). An Analysis on Economic Effects of Smart Sewage Pipe. *Journal of Convergence for Information Technology, 9(7),* 78-84. DOI : 10.22156/CS4SMB.2019.9.7.078

[7] K. Park, S. Yu & T. Lee. (2019). Hydraulic Consideration to Improve the Tractive Force of Sewage in Sewer Pipes Using a Storage Tank. *J. of KSWW, 33(2),* 121-129.

[8] Seoul. (2018). *Sewerage Rehabilitation Master Plan.*

[9] Ministry of Environment. (2009). *Feasibility Study to Introduce the Food Waste Disposers.*

[10] Seoul Water Research Institute. (2015). *Final Report on Sewerage Research.*

[11] Ministry of Environment. (2010). *Sewer Odor Measurement Manual.*

[12] Ministry of Environment. (2003). *Establishment of Guideline on Benefit-Cost Analysis on Environmental Policy.*

[13] Ministry of Environment. (2019). *Sewerage Statistics.*

오 현 택(Hyun-Taek Oh) [정회원]

· 1987년 8월: 연세대학교 경영학과 (경영학석사)
· 1992년 2월: 연세대학교 경영학과 (경영학박사)
· 1997년 9월~현재 : 청주대학교 회계학과 교수

· 관심분야: 재무회계, 정부회계, 회계감사, 세법
· E-Mail: oht0452@cju.ac.kr

박 규 홍(Kyoo-Hong Park) [정회원]

· 1986년 2월: 연세대학교 토목공학과 (공학석사)
· 1993년 1월: Northwestern University 환경공학과 (공학박사)
· 1993년 9월~현재: 중앙대학교 사회기반시스템공학부 교수

· 관심분야: 하수도, 도시물순환, 자산관리
· E-Mail: kpark@cau.ac.kr

김 성 태(Sung Tai Kim) [정회원]

· 1978년 2월: 성균관대학교 경제학과 (경제학사)
· 1987년 6월: University of California, San Diego (경제학박사)
· 1989년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 경제학과 교수

· 관심분야 : 재정학, 응용경제학
· E-Mail : stkim@cju.ac.kr

임 병 인(Byung In Lim) [정회원]

· 1985년 2월: 성균관대학교 경제학과(경제학사)
· 2000년 2월: 성균관대학교 대학원 경제학과(경제학 박사)
· 2007년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 경제학과 교수

· 관심분야: 재정학(소득분배), R&D, 보험경제학
· E-Mail: bilforest@gmail.com