

자원순환형 기술개발에 대한 사회적 수용성 분석:

친환경 변기시스템을 사례로*

An Analysis on Social Acceptance for Resource Circular Technology Development: A Case of a Eco-Toilet System

엄영숙** · 오형나*** · 조재원**** · 김자애*****

Young Sook Eom · Hyungna Oh · Jaeweon Cho · Jaai Kim

요약: 자원순환기본법이 2018년 1월부터 시행되면서 폐기물의 감량, 재이용, 재활용을 넘어서 자원회수를 적극 권장하고 있다. 본 연구는 울산과학기술원 사이언스월드 연구진들이 개발한 물을 적게 쓰고 인분을 바이오에너지로 전환할 수 있는 공동체 기반 친환경 변기시스템 구축에 대한 주민들의 심리적 수용성과 사회적 선호를 측정하였다. 2018년 12월 말에 전국 16개 시·도의 세대주나 배우자를 대상으로 1,613 가구에 대한 웹설문조사를 통하여 조건부가치측정법(CVM) 설문조사를 수행하였다. 표본의 80% 가까이가 수세식 화장실 대신에 비비변기를 가정에서 사용할 의도가 있다고 응답하였다. 나아가서 인분을 활용한 공동체 단위 바이오에너지센터 구축에 대해서 표본의 84% 정도가 동의 지불의사가 있다고 응답하였고, 가구당 월평균 지불의사는 12,300원 정도로 측정되었다.

핵심주제어: 자원순환기본법, 물 절약 에너지 회수 가능 친환경 변기, 심리적 수용성과 사회적 선호, 조건부가치측정법(CVM)

Abstract: This study investigates residents' psychological acceptability and social preferences for the R&D project being conducted by the Science Walden in UNIST, which is designing a community-based, water-saving, and bioenergy recovering toilet (BeeVi toilet) system. A nation-wide, web-based contingent valuation survey was conducted for 1,613 heads of household or their spouses at the end of 2018. Nearly 80 percent of respondents expressed their intentions to use the BeeVi toilet at home as an alternative to the current flushing toilet. Furthermore, about 84 percent of the sample stated a positive willingness to pay for the project using residents' fecal matter. The average willingness to pay was estimated to be above 12,000 won per month.

Key Words: Resource Circulation Act, Water-Saving and Bioenergy-Recovering Eco-Toilet, Psychological and Social Acceptance, Contingent Valuation Method(CVM)

* 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1A5A7037825).

*** 주저자, 교신저자, 전북대학교 경제학부 교수

*** 공동저자, 경희대학교 국제학과 교수

*** 공동저자, 울산과학기술원 도시환경공학과 교수

*** 공동저자, 울산과학기술원 도시환경공학과 연구교수

I. 서론

최근 생활폐기물의 처리방식이 ‘처리와 제거’에서 ‘순환과 회수’로 방향이 선회하고 있다. 대표적인 사례로 유럽연합(EU)은 2015년 말부터 자원의 채취, 생산, 소비 그리고 폐기로 이루어지는 선형경제(linear economy)에서 순환경제(circular economy)로의 전환을 천명하고 ‘폐기물 제로화 정책’ 등 여러 형태의 실행방안을 마련하고 있다(환경부, 2017). 우리나라에서도 이러한 흐름에 맞추어 우리나라에서도 2018년 1월부터 자원순환기본법을 시행하고 있다. 자원순환기본법은 생산 및 소비단계에서 폐기물 발생을 줄이고(reduce), 재사용(reuse) 하고 혹은 재활용(recycle)을 촉진하는 기존의 폐기물 관리정책에서 한 걸음 더 나아가서 폐기물에서 에너지를 회수(recovery)의 중요성을 명시하고 있다(환경부, 2018a).

인간 활동의 결과로 다양한 폐기물이 발생하며, 일반가정의 화장실에서 배출되는 분뇨는 생활폐기물의 상당부분을 차지한다. 대소변 처리를 위해 일반화되어 있는 수세식 화장실은 한번 사용할 때 마다 10리터 내외의 수도물을 사용하고, 하수관거를 거쳐 대규모 중앙집중식 하수처리시스템에서 처리되고 있다. 소변에 많이 들어 있는 질소와 인을 제거하여 정화된 물로 바꾸기 위해 고도처리시설이 요구되고 있다. 나아가서 하수처리 후에 남는 하수슬러지를 매립하거나 소각하는 데에도 막대한 비용이 들고 있다. 또한 하수처리시설이 노후화되면서 처리용량의 과부하로 악취를 유발하기도 한다.

이미 1990년대부터 화장실에서 물 사용량을 줄이거나, 분뇨를 분리하여 소변에서 인과 질소를 회수하여 비료화 하는 등 분뇨처리시스템 개선을 위한 기술의 상용화가 시도되었다(김상래, 2014).¹⁾ 또한 하수처리시설에서 처리 후 남는 슬러지를 혐기성 소화조를 이용하여 바이오에너지로 전환하여 하수처리시설의 전기사용료를 20-50%까지 절감하는 사례가 늘

1) 분뇨에서 소변을 분리하는 기술적용까지는 아니지만, 우리나라를 포함해서 아시아 여러 국가에서는 축분을 포함하여 인분에 포함된 질소나 인과 같은 영양제가 포함되었다는 것을 오래 전부터 인지하고 농업용 퇴비로 활용하여 왔다(김상래, 2014).

어나고 있다(Onojo et al., 2013).

최근 물 부족과 저탄소 에너지에 대한 관심이 고조되면서, 분뇨를 분리하여 바이오에너지를 생산하려는 기술개선 노력이 국내외 학계에서 활발히 이루어지고 있다(Ng et al., 2012; 김재영, 2015). 그러나 이러한 분뇨 분리기술이 일반가정의 화장실에서 실현될 수 있도록 변기를 디자인하거나, 크고 작은 공동체가 각 가정의 인분을 모아서 처리하는 시스템으로의 연계노력은 아직 미흡한 상태이다. 이처럼 기술이 존재한다고 하더라도 소비자 또는 사회가 받아들일 수 있는 상품과 옵션으로 구현되지 않는다면 기술의 발전이 실제 성과로 이어지기는 어렵다. 이러한 문제의식 아래 울산과학기술원의 사이언스월든(Science Walden) 프로젝트는 2018년부터 연구재단 융합연구선도센터(Convergence Research Center, CRC) 사업을 진행해 왔다. 사이언스월든 프로젝트는 물 사용량이 대폭 감소하고 진공펌프와 연결된 비비(BeeVi)변기²⁾를 이용하여 인분을 미생물 소화조로 투입하여 전기와 가스 등 바이오에너지를 생산하는 대안적 분뇨처리 시스템 구축을 기반으로 하고 있다.

비비변기시스템은 아파트나 마을 공동체 단위의 소규모의 바이오에너지시설에 모아서 전기나 가스를 생산하여 공동체 주민들에게 혜택을 줄 수 있는 분산형 신재생에너지 생산방식이라고 볼 수 있다. 또한 EU가 추진하고 있는 순환경제나 우리나라의 자원순환기본법의 틀 안에서 볼 때 희소자원이라고 볼 수 있는 수돗물 사용을 줄이고, 처리하는 데 비용이 드는 인분에서 바이오 에너지를 회수하고 나머지를 퇴비로 재활용하려는 노력으로 여러 마리 토끼를 잡을 수 있는 미래지향형 연구개발이라고 볼 수 있다.

그러나 비비변기시스템으로의 전환은 개별 가구의 입장에서 보면 위생적이고 청결한 화장실로 인식되어 온 수세식 변기를 사용하지 않게 되는

2) 비비(BeeVi)변기 명칭은 꿀벌(Bee)과 같이 소중한 것을 만들어 냄으로써 미래의 비전(Vision)을 만들어 보자는 의미로 울산과학기술원에서 진행하는 사이언스월든 프로젝트의 개념을 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다. 이러한 의미를 반영하여 본 연구에서 제시하는 대안적 변기를 비비변기로 표기하였다.

것이고, 그동안 지방공공서비스로 인식되어 온 하수처리시설 대신에 공동체 단위의 바이오에너지시설을 설치하는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 이처럼 현재 안착되어 있는 분뇨처리시스템 대신 비비변기와 같이 친환경적이긴 하지만 비용 대비 효과가 아직은 불확실한 대안적 분뇨처리시스템으로 전환하기 위해서는 국민들이 친환경적 변기를 심리적으로 수용하고 실제로 가정에 설치하여 이용하는 행동의 변화가 전제되어야 한다. 다시 말해 비비변기 시스템에 대한 사회적 수용성이 전제되어야 한다는 것이다. 안타깝게도 우리나라에서 친환경적 기술에 대한 사회적 수용성이 높은 편은 아니다. 일례로 태양광이나 풍력발전과 같은 신재생에너지에 대한 국민적 지지는 높지만, 막상 특정지역에 발전설비를 설치하려고 할 때 지역 사회의 반발은 선진국에 비해 상당히 높은 편이다(정성삼, 2017; 이철용, 2014; 이상훈·윤성권, 2015).³⁾

본 연구는 우리나라에서는 처음으로 물을 절약하고 에너지를 회수할 수 있는 대안적 변기(비비변기)에 대한 개별 가구들의 심리적 수용성과 아울러 공동체 기반 바이오에너지시설 건설계획에 대한 진술선호를 분석함으로써 친환경적 변기시스템에 대한 사회적 수용성을 측정하고자 한다. 새로운 기술개발에 대한 잠재적 소비자들의 진술선호는 그동안 신재생에너지사업의 사회적 수용성 측정을 위해서 적용되어 온 조건부가치측정법(contingent valuation method, CVM)을 적용하고자 한다(이철용, 2014; 유승훈 등, 2015). CVM 분석을 위해 2018년 12월 말부터 2019년 1월 중순까지 전국 16개 시·도 인구의 성별·연령별 구성에 비례하여 세대주나 배우자를 대상으로 1,613 가구에 대해 웹설문조사를 실시하였다. 주거유형에 따른 차이를 살펴보기 위하여 단독주택(555가구)과 아파트(1,058가구) 그룹으로 분리하여 조사하였다. 본 연구결과는 자원순환형 기술개발

3) 일례로 2016년 전국에서 허가가 반려되거나 보류된 태양광 풍력 발전 사업 3건 중 1건(37.5%)은 주민 반발에 의한 것으로 집계될 정도로 우리나라의 신재생에너지 발전소에 대한 지역수용성은 낮은 편이다. 반면에 덴마크의 경우 이미 2002년에 풍력발전 비중이 15%에 달하였으며, 풍력발전 설비의 약 40%가 지역협동조합에 의해 운영되고 있다. 독일 역시 2012년 기준 재생에너지 설비의 46%가 지역주민협동조합에 의해 운영되고 있다(정성삼, 2017).

사업화와 신재생에너지 정책방향에 시사점을 제공할 것으로 기대한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 우선 제II절에서 선진국과 개발도상국에서의 대안적 변기시스템 개발시도와 소비자들의 인식과 태도에 대한 문헌을 검토한다. 제III절에서는 본 연구의 조사설계와 표본설계에 대해 설명하고 표본의 특성을 요약한다. 제IV절에서는 표본 응답자들의 인식 및 태도에 대해 그리고 비비변기와 비비변기 시스템 구축에 대한 사회적 수용성에 대한 실증분석 결과를 설명한다. 마지막으로 제V절에서는 결론을 요약하고 정책적 시사점을 살펴본다.

II. 문헌연구

1. 선진국의 대안적 변기 개발과 에너지 회수 시도

1) 분뇨 분리형(NoMix) 변기개발 및 사용

대부분의 가정에 설치되어 있는 수세식 화장실은 한번 사용할 때마다 보통 절수형이라고 해도 6리터 이상을, 보통은 10리터 이상의 물을 필요로 한다. 수세식 변기의 물 사용을 줄이기 위한 노력으로 이미 1990년부터 스위스 Eatag는 스웨덴의 Roediger 회사와 함께 소변을 대변에서 분리하는 분리형(NoMix)변기를 상업용으로 제작하였다(Rauch et al., 2003). 이러한 분리형 변기를 공동체에 적용한 사례로는 스웨덴의 Tanum시와 Vaxholm시가 있다. Tanum시는 농촌형 소도시로 중앙하수처리장에 연결이 쉽지 않은 분산된 단독 주택들이 많은 특징을 가지고 있으며, Vaxholm시는 스톡홀름에서 멀리 떨어진 섬에 위치한 현대적인 주거지역으로 자체적인 인분 처리시설이 필요한 상황에서 지방자치단체가 적극적으로 분리형 변기를 상업화한 경우에 해당한다(김상래, 2014).

최근 싱가포르 난양공과대학(NTU)에서는 분리형 진공변기(NoMix Vacuum Toilet)를 개발하여 소변을 별도 수거하고 대변과 음식물 쓰레기

를 혼합하여 에너지와 퇴비를 회수하는 연구가 수행하였다(Ng et al., 2012). 또한 Onabanjo et al.(2016)은 물을 사용하지 않아도 될 뿐만 아니라 하수처리시설에 연결되지 않고 집안에서 소규모로 인분을 바이오 가스로 전환할 수 있는 나노 막 변기(Nano Membrane Toilet, NMT)를 제안하기도 하였다.

2) 하수처리장 슬러지로부터 바이오에너지 회수

하수처리시설에서 최종적으로 남는 슬러지를 혐기성 소화방식을 적용하여 바이오에너지로 전환하려는 노력 역시 이미 1990년 초반부터 스웨덴과 노르웨이, 영국, 독일, 스위스 등 유럽국가들 중심으로 이루어졌다.⁴⁾ 이렇게 생산된 바이오에너지를 활용하여 하수처리장 운영을 위한 전기료의 20-50%를 절약할 수 있으므로, 대소변의 처리가 비용이 든다기보다는 수익을 가져올 수 있다는 인식이 생기기 시작하였다(Thames Water, 2016; Onojo et al., 2013). 최근 하수슬러지를 포함한 유기성 고형유기물을 효율적으로 바이오에너지로 전환하기 위하여 다양한 전처리 방법이 시도되고 있다(Ariunbaatar et al., 2014). 또한 순환경제를 표방한 EU는 재활용이 어려운 도시 유기성 폐기물들을 재생가능하고 CO₂ 중립적인 처리방법인 혐기성 소화조를 이용하여 바이오 에너지로 전환하는 것을 권장하고 있다(Yu et al., 2018).

2. 개발도상국의 위생적 변기 시스템 구축과 에너지 확보

이제까지 살펴 본 선진국의 사례와는 달리 개발도상국(이하 개도국)에서는 공중보건 측면에서 심각한 화장실 문제를 겪고 있다. 세계보건기구(WHO, 2018)에 따르면 2016년 현재 전 세계의 인구의 30%가 넘는 약 23

4) 이미 1800년대 초반에 우분이 생산하는 가스에 메탄이 포함되었다는 것이 발견되었고, 1800년대 말에는 영국과 독일에서는 하수처리장에 혐기성 소화조를 설치하였다. 또한 혐기성 소화방식으로 대소변을 처리하려는 시도는 이미 제2차 세계대전 중에 독일과 프랑스에서 있었다(Onojo et al., 2013)

억 명이 기본적인 위생시설(실내 화장실)을 갖추지 못하고 있고, 약 9억 명 정도는 아직도 길 위에 대소변을 배설하고 하고 있다.⁵⁾ 이처럼 실내 화장실을 포함하여 위생적인 분뇨처리시스템이 제대로 갖추어지지 않은 지역에서는 분뇨가 처리되지 않은 채 배출되어 강과 하천 혹은 공기를 오염시키고, 결국 주민들 특히 어린이들이 설사나 이질과 같은 수인성 전염병 위험에 노출될 수 있다(World Bank, 2015).

한편, 개도국에서는 지속적인 인구증가와 급격한 산업화로 에너지 수요가 급증하고 있다. 최빈 개도국의 경우 요리와 난방을 위해 장작이나 목재 칩 등에 의존하는 경우도 많아 일상생활에 필요한 에너지 확보도 절실한 상황이다. 인분으로부터 에너지를 회수하는 기술은 이들 개도국이 활용할 수 있는 에너지 대안의 하나가 될 수 있다. UN이 2015년에 발간한 보고서에 따르면 화장실 밖에서 보는 대변을 모아서 처리하면 약 2억 달러 상당의 메탄 생산이 가능해 약 1천만 가정에 전기를 공급할 수 있을 것으로 분석하였다(UN University, 2015).

또한 우간다나 세네갈과 같은 아프리카의 여러 나라들에서 인분을 에너지로(poop -to-power) 혹은 폐기물을 에너지로(waste-to-energy) 전환하려는 프로젝트가 운영되고 있다(Dbida, 2019). 세계적인 재단법인인 Bill and Melinda 재단에서도 2011년부터 물과 위생 및 공중보건 프로그램의 일환으로 안전하고 지속가능하며 감당할 만한 위생시설에 대한 접근성 증대를 위해 개도국에서 ‘화장실 문제의 재창조(Reinvent the Toilet Challenge)’라는 선도적인 사업을 추진하고 있다(Bill and Melinda Gates Foundation, 2019). 또한 매년 11월 19일을 세계 화장실의 날(World Toilet Day)로 정하여 대소변을 적절하게 처리함으로써 위생과 에너지 부족이라는 두 가지 문제를 동시에 해결하기 위한 인식전환에 힘쓰고 있다.

5) 일례로 인도의 경우 2011년 현재 전 가구 중 53% 이상이 실내 화장실이 없는 것으로 조사되었다. 특히 시골거주 가구의 69% 이상이 그리고 도시 거주 가구의 19% 이상이 실내 화장실이 없는 것으로 관찰되었다(Mukherjee and Chakraborty, 2016).

3. 대안적 변기시스템에 대한 주민들의 수용성 및 지불의사

기존 문헌에서 자원순환형 화장실은 퇴비화 화장실(composting toilet), 생태 화장실(ecological toilet 혹은 bio-toilet), 물 절약 기능이 탑재된 변기(water-saving toilet), 분뇨 분리형 변기(NoMix toilet) 등 다양한 이름으로 사용되었으나 명확히 정의되지는 않았다. 본 연구에서도 넓은 의미의 자원순환형 화장실에 대한 주민들의 수용성에 대한 문헌을 검토하였다. Russel et al.(2015)은 실내화장실이 없는 Haiti의 도시빈민들에게 이동이 가능한 상자형 변기를 제공하고 2-3주 후에 수거해 가는 상자형 화장실(container-based toilet)에 대한 주민들의 인식과 선호에 대한 설문조사를 실시하였다. 248명의 응답자들 중 71%가 실험이 끝난 후에도 사용료를 지불하고라도 실내화장실을 계속 유지할 의사가 있다고 응답하였다. Albrecht et al.(2010)은 인도네시아 시골에 거주하는 330명의 응답자들을 대상으로 인분을 건식으로 처리하여 유기농 퇴비를 생산할 수 있는 생태변기시스템에 대하여 조사하였다. 그 결과 종교나 지역에 상관없이 80% 이상의 응답자들이 생태변기로 생산된 유기농 비료를 사용할 의사가 있을 뿐만 아니라 유기농 비료를 사용하여 생산된 농산물을 구매할 의사도 있다고 응답하였다. 그러나 50% 미만의 응답자들만이 집에서 생태변기를 설치할 의사가 있다고 응답하였으며, 주저하는 이유로는 인분을 오줌과 분리하고 건조하여 저장하는 일이 쉽지 않기 때문이라고 응답했다.

말레시아의 3개 시골마을에서 퇴비화장실 설치에 대한 주민들의 인식조사를 실시한 결과, 분뇨의 환경오염 및 건강위해 가능성에 대한 인식, 소득, 이에 따라 수용성의 정도가 달라진다는 것을 관찰하였다(Kristensen, 2018). 필리핀 시골마을에서 생태변기에 대한 설문조사 결과에 따르면 50% 이상의 응답자들이 인분의 영양물질에 대해 인지하고 있었고, 이러한 영양적 가치에 대한 지식을 가지고 있는 사람들일수록 생태변기 사용에 대해 긍정적인 태도를 보이는 것으로 나타났다(Ignacio et al, 2018).

최근 들어 스웨덴, 캐나다, 호주에서 물을 사용하지 않고 소변을 분리하는 건식 퇴비화장실(Dry Composting Toilet, DCT)이 하수도시스템이 없

거나 용량이 부족한 지역의 위생적·친환경적이며 경제적으로 실용적인 옵션으로 고려되고 있다(Crockett et al., 2003). 특히 호주의 부동산 연구 그룹이 3,000명의 전·현 고객들을 대상으로 건식 퇴비화장실이 장착된 아파트를 구매할 의사가 있는지 질문하였는데 90% 이상이 긍정적이라고 응답했다. 이들은 자원절약적 아파트에 대해 다른 조건이 같다면 5,000 달러 이상을 추가적으로 지불할 의사가 있다고 응답하였다. 한편, 스위스에 위치한 한 직업전문학교에서 여자화장실과 남자화장실에 소변을 대변과 분리할 수 있는 분뇨 분리형 변기를 설치하고 학생들의 이용을 장려하였다. 단기와 장기 이용경험이 있는 271명의 학생들을 설문조사한 결과 70% 이상의 응답자들이 분리형 변기가 환경적 측면에서 긍정적이라고 응답하였다. 그리고 87%의 응답자들이 분리형 변기가 설치된 아파트로 이사할 의향이 있다고 응답했다. 그러나 이를 위해 추가적으로 상당한 금액을 지불할 의사가 있다고 답한 응답자는 20%에 불과하였다(Lienert et al., 2006).

III. 조사설계 및 자료수집

기존문헌 검토에 따르면 선진국은 물 절약과 에너지 회수 그리고 개도국은 보건위생과 에너지 확보 측면에서 자원순환형 변기에 대한 심리적 수용성은 높은 것으로 나타났다. 그러나 이러한 대안적 변기설치를 위해 지불의사가 있는지에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 상황이다. 또한 자원순환형 변기에서 나온 인분을 모아서 바이오 에너지를 생산하는 시설과 같은 인프라 구축에 대한 지역사회의 수용성에 대한 연구는 아직 미흡한 상태이다.

1. 울산과학기술원의 비비변기 시스템 기술개발사업

울산과학기술원이 주도하고 있는 사이언스월든⁶⁾은 물 절약과 동시에 바이오에너지 생산이 가능한 비비변기(BeeVi)를 개발하고, 공동체 적용을 위한 시스템 개발을 모색하고 있다. 2015년에 개발되어 교내 실험실 사월당(思越堂: 생각을 뛰어 넘는 공간)에 설치되었던 비비변기(BeeVi) 1.0은 2017년에 대변을 진공으로 빨아들여 바이오에너지 전환 장치로 바로 보낼 수 비비변기 2.0으로 진화되었다.

비비변기 2.0은 2018년 울산 UNIST 캠퍼스 안에 생활형 실험실인 60평 규모의 과일집(과학이 일상으로 들어오는 집, Science Cabin)에 설치되었다. 비비변기에서 진공으로 수거된 대변은 지하실 저장조에 음식물 쓰레기와 함께 저장되었다가 미생물 소화조로 이송되어 메탄가스로 변환된다. 이렇게 생산된 가스를 사용하여 샤워를 하거나 음식을 요리하거나 난방도 할 수 있다. 그리고 마지막으로 남은 퇴비는 비료로 텃밭 등에서 사용될 수 있다(Lee et al., 2017).⁷⁾

사이언스월든 연구팀의 최종목표는 비비변기 시스템이 교내 실험실을 벗어나 전원마을이나 도시 공동체에 적용되어 분산형 전원으로 자리 잡는 것이다. 이를 위해서는 자원순환·분산형 비비변기시스템이 현재 운영 중인 중앙집중적 분뇨처리시스템을 교체하거나, 새로 조성되는 아파트 단지나 마을 공동체가 비비변기 시스템을 채택해야 한다. 여기에서 관건은 비비변기와 관련 시스템에 대한 주민들과 공동체의 수용성 정도이다.

2. CVM 시나리오와 조사 설계

울산과학기술원에서 개발 중인 비비변기에 대한 가구들의 수용성과 비

6) 연구재단의 CRC사업으로 진행되고 있는 융합연구로 환경공학뿐 아니라 철학, 미술, 경제학, 디자인, 도시공학 등 다양한 분야의 연구진으로 구성되어 있다.

7) 울산과학기술원의 연구는 비비변기를 사용하여 물을 절약하고 인분을 바이오 에너지로 전환하는데 그치지 않고 전환된 에너지의 가치만큼을 ‘꿀’이라는 사이버 화폐가 지급되고 실제 사용할 수 있도록 하는 동본위화폐제도의 확립을 목표로 하고 있다.

비변기 시스템에 대한 진술선호를 분석하기 위해 CVM을 적용하였다. 본 CVM 설문조사는 물 사용량이 다른 변기 유형에 대한 사적 선택과 수거된 분뇨의 처리방식에 대한 공동체의 선택이 혼재된 혼합재(mixed services)에 대해 평가한다는 점에서 일반적인 CVM 연구와 구별된다. CVM 질문에 앞서 응답자들의 인분과 수세식 변기에 대한 인식 및 대소변 습관을 묻은 질문들을 하였다. 이어서 설문조사 직전 월에 납부한 가구 당 상하수도, 전기 그리고 도시가스 요금에 어느 정도였는지를 질문하였다. 기억하지 못하는 응답자들에게는 2017년 월 전국평균 요금 액수들을 제시하였다.

1) 비비변기에 대한 심리적 수용성

CVM 적용을 위한 조사 설계의 첫 단계로서 가상 상황이긴 하지만 응답자가 선택하는 비시장 서비스를 잘 이해하고 개별 가구들의 실제 선호체계에 근접해서 응답할 수 있도록 시나리오를 구축하였다. 우선 응답자들에게 일반 가정에 설치된 수세식 변기는 한번 사용할 때 마다 10리터 정도의 물을 사용한다고 설명하였다. 보통 하루 6번의 대소변을 본다면 약 60리터 수돗물이 사용되며,⁸⁾ 대소변이 섞인 오수는 정화조를 거쳐 하수처리장으로 이동한 후 처리과정을 거쳐 방류되고 대소변의 찌꺼기는 탈수되어 매립되거나 소각되는 과정을 단순화된 도식도와 함께 설명하였다.⁹⁾

이어 응답자들은 역시 단순화된 도식도와 함께 울산과학기술원에서 개발한 비비변기는 6번의 대소변 처리에 60리터가 아닌 6리터의 물만을 사용하는 대안이라고 설명을 듣게 된다. 대소변이 분리된 후 대변에 포함된

8) 이럴 경우 화장실에서 쓰는 물의 양은 4인 가족 기준으로 가정 내 생활용수 소비량의 약 30% 정도를 차지한다. 우리나라 한 사람이 하루에 쓰는 물은 2017년 기준 282리터 정도이고, 가정에서 한 사람이 하루 사용하는 물은 178리터 정도이다(환경부, 2018b). 우리나라 국민 1인 당 1일 물 사용량은 독일(127리터)이나 덴마크(131리터) 등 유럽국가에 비해 2배에 달하는 셈이다.

9) 설문지 초안에서는 수세식 화장실과 정화조와 하수관거 그리고 하수처리과정 등 좀 더 공학적인 측면에서 도식화 하였다. 잠재적 응답자들을 대상으로 수행된 표적집단 토론회(FGI)에서 너무 복잡하여 일반인들이 이해하기 어렵다는 반응이었다. 그래서 단순화된 도식도를 설명과 함께 제시하였고 응답자들이 큰 어려움 없이 이해하였다.

유기물이 미생물 발효를 통해 메탄으로 전환되어 천연가스와 전기를 생산할 수 있으며, 대변에서 에너지가 회수되고 남은 찌꺼기는 퇴비이나 옥상밭에서 퇴비로 활용될 수 있다는 내용도 응답자들에게 전달되었다.

두 종류의 변기시스템을 설명한 후, 냄새와 청결도 등에서 차이가 없다고 가정하고, 가정 내에 수세식 변기와 비비변기 중 어느 변기를 사용할 것인지를 질문함으로써 비비변기에 대한 개별 가구의 수용성을 조사했다. 이어 해당 변기유형을 선택한 이유를 질문하였다.

2) 공동체 기반 비비변기 시스템 구축에 대한 진술선호

이어서 아파트 단지 또는 단독주택 마을 공동체 단위로 바이오에너지 센터 건립계획에 대한 진술선호를 질문하는 CVM 시나리오가 제시되었다. 아파트 단지나 마을 공동체를 가정한 것은 가구 단위의 인분량 대비 투자규모가 큰 바이오 에너지 생산시설에 대한 규모의 경제성을 고려했기 때문이다. 즉, 각 가정에서 나오는 인분을 가지고 전기나 가스를 생산하기는 어려울 것이므로 마을이나 아파트 단지 등 일정규모 이상의 공동체를 상정했다. 또한 그동안 분뇨 하수처리시설이 지방공공서비스로 제공되고 있는 점을 감안하여 공동체내 비비변기 시스템과 관련된 시설은 지방자치단체가 제공한다고 가정했다.

구체적으로 살펴보면 3인 가족 1,000세대로 된 아파트 단지나 단독주택 공동체를 새로 구성한다고 가정했다. 이 공동체에 속하는 모든 가구가 비비변기를 사용하고 인분이 바이오 에너지 센터로 수집되어 전기와 회수열로 전환된다고 설정했다. 그럴 경우 공동체의 수돗물 사용량이 매일 약 162톤 정도 절약 될 수 있다. 그리고 인분을 사용하여 생산된 회수열로 310명 정도가 샤워를 할 수 있고, 전기로 전환될 경우 전기버스로 900km(서울에서 부산을 1번 이상 왕복가능)를 달릴 수 있다고 설명하였다. 바이오 에너지로 전환되고 남은 찌꺼기는 퇴비로 도시농업에 사용될 수 있다. 아울러서 전기 생산을 위한 화석연료 사용을 줄일 수 있기 때문에 이산화탄소(CO₂) 감축에도 기여할 수 있다고 설명하였다. 이어서 회수된 전기나

가스를 공동체에 속한 가정에서 사용할 경우 도시가스 및 전기요금을 절약할 수 있고, 상하수도요금도 절약할 수 있다고 언급하였다.

그 뒤를 이어 비비번기시스템을 설치하는 것은 상당한 재원이 들기 때문에 지방자치단체는 재원조달을 위해 5년 한시적으로 바이오에너지기금을 마련하고자 한다고 설명하였다. 응답자들에게 각 가정의 소득과 지출 그리고 절약될 요금들을 염두에 두고 향후 5년 동안 매월 바이오에너지기금 형식으로 지불의사가 있는지 질문하였다.¹⁰⁾ 지불의사 금액을 정확히 써내기는 어려울 것이라는 점을 감안하여, 미리 선정된 여러 금액 중의 하나를 제시하고 그 금액을 지불할 의사가 있는지의 여부를 ‘예/아니오’로 대답하도록 하는 양분선택형 질문방식을 채택하였다. 제시금액(bids)은 사전조사에서¹¹⁾ 개방형 질문법을 사용하여 얻어진 지불의사 금액의 범위를 기초로 월 1,000원부터 15,000원까지 총 6개로 선정되었다. 제시금액에 긍정적으로 응답한 사람들에게는 그 이유를 질문하고 지불의사가 없다고 응답한 사람들에게 대해서도 후속질문으로 그 이유를 물었다.

3. CVM 설문조사 표본설계 및 표본의 특성

CVM 설문조사에서 화장실이 가구 단위로 설치되어있다는 점을 고려하여 표본단위를 가구단위로 설정했다. 조사대상은 독자적인 의사결정이 가능한 만 19세 이상의 세대주나 배우자로 한정했다. 한국리서치에 의뢰하여 2018년 12월 26일부터 2019년 1월 15일 동안 전국 16개 시·도 인구의 성별 연령별 비례를 적용하여 1,613가구에 웹설문조사를 실시하였다.¹²⁾ 주거유

10) 만약 공동체 단위로 협동조합 등을 결성하여 진행한다면 수도요금, 전기요금 혹은 도시가스요금 등을 지불수단으로 택할 수 있을 것이다. 그러나 분산형 전원방식이기는 하지만 지방자치단체가 공급하는 것으로 상정하였기 때문에 목적세 형식인 기금을 적용하였다. 또한 강제성이 있는 지불수단인 세금에 대한 거부감을 줄이기 위해 기금형식을 지불수단으로 선정하였다. 본 설문조사 이전에 수행된 표적집단토론회(FGI) 참석자들은 바이오에너지기금 형식의 지불수단이 적절하다고 판단했다.

11) 사전조사는 2018년 12월 2일부터 8일까지 본 조사 표본추출 방법과 유사하게 전국 시도 가구를 대상으로 100명의 잠재적 응답자들을 대상으로 실시되었다. CV 문항에서 지불수단은 개방형으로 질문하였다.

형에 따라 비비변기에 대한 수용성에 차이가 있는지 분석하기 위하여, 전국의 주택유형분포를 반영하여 전체 표본의 2/3는 아파트(1,058 가구) 그리고 나머지 1/3은 단독주택(555 가구) 거주자로 표본을 분리하였다.

지역별 인구비례를 반영하여 표본을 추출하였기 때문에 7개 광역시에 거주자 하는 응답자들이 43% 정도를 점하였다. 응답자들 중 남성이 39%로 여성 응답자들이 많았다. 설문문의 주요내용이 화장실과 용수 및 에너지 관련 사안이라 여성들이 더 관심이 많았을 수 있다. 표본의 평균연령은 46.5세이며 평균 가구원수는 3.3명으로 나타났다. 응답자들의 평균 교육수준은 16년 정도이고 월평균 소득은 527만 원 정도로 요약되었다. 대부분의 변수들이 주택유형에 따라 응답분포가 차이가 없는 것으로 나타났다. 다만 소득수준은 아파트 거주그룹의 평균소득이 월 5.56백만 원으로 단독주택 거주자 그룹 소득 월 4.71백만 원보다 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. <표 1>은 표본의 인구통계학적 특성을 요약하고 거주 주택유형별로 비교하고 있다.

〈표 1〉 표본의 거주 주택유형별 인구통계학적 특성 및 비교

구분	아파트	단독주택	전체평균
남성 비율 (%)	41%	34%	39%
연령 (세)	45.5	48.4	46.5
가족 구성원 수 (명)	3.36	3.34	3.31
월평균 소득 (백만 원)	5.56	4.71	5.27
교육수준 (년)	16.0	15.3	15.8
7대 광역도시 거주자	44%	40%	43%

12) 본 설문조사에서 총 3,751명이 인터넷 접속을 시도하였으나 1,613명만이 응답을 완료하였다. 인터넷 설문에 접속하였으나 설문을 완료하지 않은 2,138 가구를 단위-무응답자(unit non response)로 간주하여 CV 설문조사 응답율은 43% 정도라고 볼 수 있다.

IV. 실증분석결과

1. 인분, 수세식화장실, 자원순환에 대한 인식 및 태도

1) 인분에 대한 인식

본 연구의 주제인 인분(똥)에 대한 일반인들의 인식을 알아보기 위하여 문헌이나 언론기사에 나와 있는 인분(혹은 똥)에 대해 대비되는 문장들을 나열하고 어느 쪽에 더 공감하는지 질문하였다. <표 2>에 요약된 바와 같이 응답자들은 인분이 무기물이 아니라 유기물이라는 표현에 더 공감하고 있었다. 또한 인분이 폐기물 이라기보다는 자원이라는 인식에 약간 더 공감하는 것 같았다. 또한 인분을 건강에 해롭다고 인식하기보다는 약이 될 수 있다는 쪽에 약간 더 공감하였다. 반면에 갓 눈 인분에 병원균이 더 많은지 영양분이 더 많은지에 대해서는 비슷하게 인식하고 있는 듯하였다.

<표 2> 인분(똥)에 대한 응답자들의 인식 분포

A	매우 그렇다			같다	매우 그렇지 않다			B
	3	2	1	0	1	2	3	
인분은 자원이다			•					인분은 폐기물이다
인분은 유기물로 되어 있다			•					인분은 무기물로 되어 있다
갓 눈 인분에 영양분이 많다				•				갓 눈 똥에 병원균이 많다
인분은 약으로 쓸 수 있다			•					인분은 건강에 해롭다

2) 수세식 화장실과 자원순환에 대한 인식

<표 3>은 5점 척도로 질문한 수세식 화장실과 자원순환에 대한 응답자들의 인식을 요약하고 있다. 응답자들의 주택유형에 상관없이 수세식 화장실이나 자원순환에 대한 인식이나 태도는 유사한 것으로 관찰되었다. 먼저 ‘수세식 화장실은 물을 많이 쓴다’는 문항의 평균이 4.1로 대부분이 사람들이 그렇다고 응답한 것을 알 수 있다. 그리고 ‘위생적이다’에 대한

응답은 평균이 3.7로 상당수가 동의한 반면 '수세식 화장실은 냄새가 나지 않는다'거나 '친환경적이다'는 표현에 대한 동의수준은 각각 3.4와 3.2로 상대적으로 적은 수의 응답자가 이 표현에 동의하는 것으로 조사되었다.

한편, 대부분의 응답자들이 본인들은 분리수거를 잘하고 있다고 응답 (평균 4.2) 했으며 우리나라가 물 부족 국가라는 문장에 대한 동의 수준 역시 4.0으로 높았다. 신재생 에너지가 원전의 대안이라고 생각하느냐는 질문에는 표본평균이 3.7, 인분이나 음식물 쓰레기에서 에너지를 회수하고 남은 퇴비를 사용한 농산물을 구매하겠다는 응답 평균은 3.6으로 나타났다. 그리고 바이오 에너지의 효율이 좋다고 생각하느냐는 질문들에 대해 표본평균이 3.6으로 바이오에너지 관련 수용성은 비교적 높은 것으로 나타났다.

〈표 3〉 수세식 화장실과 자원순환 관련 문항에 대한 응답 분포

구분		전체표본	아파트 거주자	단독주택 거주자
수세식 화장실	친환경적이다	3.2 (0.86)	3.2 (0.85)	3.3 (0.87)
	위생적이다	3.7 (0.81)	3.7 (0.8)	3.7 (0.82)
	물을 많이 쓴다	4.1 (0.76)	4.1 (0.76)	4.1 (0.73)
	냄새가 나지 않는다	3.4 (0.93)	3.4 (0.93)	3.5 (0.93)
자원순환 관련	우리나라는 물 부족 국가이다	4.0 (0.91)	4.0 (0.93)	4.0 (0.87)
	회수된 바이오 에너지의 열효율이 좋다	3.6 (0.87)	3.5 (0.87)	3.6 (0.86)
	인분이나 음식물 쓰레기로 만든 비료사용 농산물을 구매할 의사가 있다	3.6 (0.88)	3.6 (0.88)	3.7 (0.88)
	신재생에너지가 원전의 좋은 대안이다	3.7 (1.1)	3.7 (1.0)	3.7 (1.1)
	나는 분리수거를 잘 하는 편이다	4.2 (0.77)	4.2 (0.75)	4.1 (0.79)

주: 괄호 안의 숫자는 각 변수들의 표준편차를 나타냄

2. 비비변기 사용에 대한 심리적 수용성과 영향요인 분석

앞서 언급한 바와 같이 수세식 변기와 비비변기에서 나온 인분의 처리

방식을 글과 그림으로 설명한 뒤, 설명이 이해되었는지 질문하고, 이해가 안 된다고 응답한 사람들에게 대해서는 설명문을 다시 제시하였다. 표본의 90% 가까운 응답자들이 이해하는 데 어려움이 없었다고 답하였다. 이어서 가정에 수세식 변기와 새로운 개념의 비비변기 두 종류가 다 설치되어 있다고 가정할 때, 냄새나 위생측면에서 차이가 없다면 어느 변기를 사용할 것인지 질문하였다. 전체표본 1,613명 중 1,270명이 냄새나 위생측면에서 같은 조건이라면 비비변기를 사용하겠다고 응답하였다. 다시 말하면 표본의 79%가 비비변기 사용의도가 있음을 밝혔다. 비비변기에 대한 수용성은 아파트 거주자나 단독주택 거주자나 주택유형에 상관없이 차이가 없었다.

비비변기 혹은 수세식 변기를 선택한 각 그룹에 대해 선택한 이유를 질문한 결과가 <표 4>에 요약되어 있다. 비비변기를 선택한 이유로 가장 큰 비중을 차지한 것은 ‘친환경적’이거나, ‘물 사용을 줄일 수 있을 것 같아서’였는데, 각각에 대해 응답자들의 30% 이상이 선택이유로 꼽았다. 그 다음으로 ‘바이오 에너지 생산이 가능할 것 같아서’를 선택이유로 들었다. 반면, 수세식 변기를 선택이유로는 ‘교체하려면 돈이 들 것 같아서’가 가장 많았고, ‘비비변기가 불편할 것 같아서’ 또는 ‘새로운 변화가 싫어서’를 이유로 들었다.

<표 4> 비비변기와 수세식 변기 선택 이유 분포

비비변기 선택 이유		수세식 변기 선택 이유	
친환경적일 것 같다	481명	교체하려면 돈이 들 것 같다	110명
물 사용량을 줄일 수 있다	429명	불편할 것 같다	71명
바이오 에너지 생산할 수 있다	191명	그냥 새로운 변화가 싫어서	50명
음식을 쓰레기와 같이 처리할 수 있다	92명	비위생적일 것 같다	37명
새로운 기술을 접해 볼 수 있다	51명	기술을 믿을 수 없다	35명
기타 다른 이유	26명	기타 다른 이유	40명
합계	1,270명		343명

가정에서 비비변기를 사용할 의도 즉 비비변기에 대한 수용성에 영향을 미치는 요인들을 살펴보기 위해 프로빗 모형을 추정하고, 그 결과를 <표

5)에 제시하고 있다. 프로빗 모형은 비비변기 사용의도 질문에 대한 ‘예/아니오’의 응답에 기초하여 추정되었다. 추정 결과, 인분이 무기물이라기 보다는 유기물이라고 생각하는 사람들일수록 비비변기를 선택할 가능성이 높았다. 그리고 수세식 변기가 친환경적이라고 생각할수록 비비변기 사용의도가 낮았으며, 수세식 변기가 물을 많이 사용한다고 생각하는 사람들일수록 비비변기 선택 가능성이 높았다. 나아가서 우리나라가 물 부족국가라고 생각할수록, 인분이나 음식물 쓰레기에서 회수된 바이오 에너지의 효율이 좋을 것이라고 생각할수록 그리고 신재생에너지가 원전의 대안이 될 것이라고 생각하는 사람들일수록 비비변기를 선택할 가능성이 높았다. 그러나 예상과 달리 저탄소 녹색마을에 대해서 들어보았거나 방문해 본 경험이 있는 응답자들일수록 오히려 비비변기를 선택할 가능성이 낮았다.

〈표 5〉 비비변기 사용의도에 대한 프로빗 모형 추정결과

변수명		계수 추정치	t-ratio
절 편		-2.313	-5.76
인식/태도/경험 변수	인분은 유기물이다	0.091***	3.93
	수세식 변기는 친환경적이다	-0.12***	-2.63
	수세식 변기는 물을 많이 쓴다	0.218***	4.44
	우리나라는 물 부족 국가다	0.165***	3.94
	바이오 에너지 효율이 좋다	0.112**	2.45
	신재생에너지가 원전의 대안이다	0.118***	3.26
	녹색마을을 들어보거나 방문경험 있다	-0.138**	-1.98
인구통계학적 변수	주택소유자	-0.176**	-2.06
	성별 (남성=1)	0.189**	2.32
	교육수준	0.061***	3.79
	소득수준	-0.0012	-0.08
실험설계 변수	아파트 거주자	0.056	0.71
	7대 광역도시 거주자	0.114	1.53
N		1,613	
Pseudo R ²		0.12	
χ^2 통계량		144.4 ***	0.000

주: ***는 1% 수준에서 **는 5% 수준에서 그리고 *는 10% 수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄

인구통계학적 변수들로는 아파트나 단독주택의 구분 없이 주택을 소유한 사람들일수록 비비번기 수용성이 낮았으며, 또한 교육수준이 높거나 여성에 비해 남성들이 비비번기 사용의도가 있는 것으로 나타났다. 그러나 소득수준이나 주택유형(즉 아파트와 단독주택 구분) 그리고 대도시 거주자인지 일반 시도 거주자인지는 비비번기 선택 가능성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3. 공동체 기반 비비번기 시스템 구축에 대한 진술선호 측정

1) 비비번기 시스템 구축에 대한 지불의사함수 추정결과

3인 가족 1,000세대로 구성된 공동체(아파트 혹은 단독주택)를 대상으로 비비번기 시스템을 구축하겠다는 지방자치단체의 계획에 대한 지불의사를 질문하는 양분선택형 CV 질문에 대한 응답분포를 살펴보면, 제시된 금액에 대해 1,078명(67%)이 '예'라고 응답하였다. '아니오'라고 응답한 535명을 대상으로 지불의사가 제로(0) 인지 물어보는 후속질문에 대해 전체표본 중 276명(16%)만이 비비번기 시스템 구축을 위해 지불의가 전혀 없다고 응답하였다. 다시 말하면 표본의 84%가 비비번기 시스템 구축에 동의 지불의사를 가져 공동체적 수용성을 나타냈다고 볼 수 있다. 다른 한편으로 비비번기 시스템 구축에 대한 진술선호에 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위하여 CV 문항에서 제시된 금액에 대한 '예(1,078명)/아니오(535명)'응답에 기초하여 확률효용모형(Random Utility Model, RUM)을 적용하고(Freeman, 2003) 프로빗 모형으로 추정된 결과를 <표 6>에 제시하고 있다. 하였다. 모형 (1)은 단순모형으로 실험설계변수들이라고 볼 수 있는 제시금액과, 응답자들의 거주 주택유형 구분 그리고 대도시 거주여부 변수들만 포함하였다. 모형 (2)는 실험설계변수에 비비번기 수용성을 반영하는 더미변수를 포함하였다. 반면에 <표 5>에 제시된 바와 같이 비비번기 수용성 여부가 응답자들의 인구통계학적 변수들과 인식, 태도 및 경험변수들에 의해 영향을 받고 있다는 점을 반영하여, 모형 (3)과 (4)에서

는 비비변기 수용성 여부 변수는 제외하고 인구통계학적 변수들과 인식, 태도 및 경험변수들을 설명변수로 포함하였다.

우선 모형 (1)로부터 (4) 전 모형을 통하여 기금으로 제시된 제시금액 변수가 통계적으로 유의한 음의 부호를 보였다. 이는 제시금액이 커질수록 바이오에너지 기금납부에 긍정적으로 응답할 가능성이 낮아진다는 것을 의미한다. 주택유형별로 보면, 아파트 거주자들이 단독주택 거주자들보다 제시금액을 납부하는 데 긍정적으로 반응하였으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다. 또한 7대 광역시에 거주하는 응답자들이 지방도시에 거주하는 사람들에 비해 긍정적으로 응답할 가능성이 높았으나 역시 통계적으로 유의하지 않았다.

모형 (2)에서는 예상한대로 수세식 변기 대신에 비비변기를 선택함으로써 심리적 수용성이 높은 응답자들일수록 비비변기 시스템 구축에 긍정적으로 응답할 가능성이 높았다. 모형 (3)에 포함된 인구통계학적 변수들 중 응답자들의 소득이나 성별 그리고 교육수준 등은 통계적으로 유의하지 않은 반면에 나이가 든 사람들일수록 비비변기 시스템 구축을 위한 지불의사에 긍정적인 것으로 나타났다. 다른 한편으로 인분을 자원으로 생각하고 수세식 화장실이 물을 많이 쓴다고 생각하는 사람들일수록 CV 문항에 '예'라고 응답할 가능성이 높았다. 그리고 우리나라가 물 부족 국가라고 생각할수록 바이오에너지의 열효율이 좋다고 생각하고 신재생에너지가 원전의 대안이라고 생각하는 사람들일수록 비비변기 시스템 구축에 긍정적인 것으로 나타났다. 나아가서 자원순환마을에 대해서 들어보았거나 방문한 경험이 있는 사람들일수록 비비변기 시스템으로의 전환에 대해 지불의사가 높은 것으로 나타났다.

〈표 6〉 비비번기 시스템 구축에 대한 지불의사함수 추정결과

변수명		모형 1	모형 2	모형 3	모형 4
절편		0.695 (9.17)	0.292 (3.10)	-0.543 (-1.80)	-2.71 (-7.11)
설계변수	제시금액	-0.049*** (-6.09)	-0.053*** (-6.52)	-0.05*** (-6.17)	-0.055*** (-6.58)
	주택유형 (아파트 거주자=1)	0.076 (1.10)	0.073 (1.04)	0.048 (0.67)	0.009 (0.13)
	7대 광역도시 거주자	0.071 (1.07)	0.055 (0.83)	0.09 (1.35)	0.078 (1.14)
태도변수	비비번기 사용 수용성		0.573*** (7.34)		
인구 및 통계학 적변수	가계 월 소득			0.014 (1.06)	0.005 (0.37)
	성별 (남성=1)			0.002 (0.03)	-0.172 (-2.25)**
	나이			0.018*** (5.32)	0.014*** (3.71)
	교육수준			0.021 (1.48)	0.015 (1.04)
인식·태도경험 변수	인분은 자원이다				0.042* (1.89)
	수세식 화장실은 물을 많이 쓴다				0.092** (1.99)
	우리나라는 물 부족 국가이다				0.108*** (2.78)
	바이오 에너지 열효율 좋음				0.23*** (5.40)
	신재생에너지가 원전의 대안				0.193*** (5.72)
	자원순환마을 인지 및 방문경험				0.106* (1.68)
N		1,613	1,613	1,613	1,613
χ^2 통계량		39.9*** (0.0000)	93.9*** (0.000)	76.6*** (0.000)	206.0*** (0.000)
WTP 추정치	변수들의 표본평균에서 계산된	12,316 원 (9.23)***			
	표본 WTP 추정치 (월 평균)				

주: 괄호안의 숫자는 t-통계량을 나타내며 χ^2 통계치는 절편 이외의 모든 설명변수들이 통계 적으로 유의하지 않다는 가설에 대한 통계량을 나타낸다

***는 1% 수준에서 **는 5% 수준에서 그리고 *는 10% 수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄

2) 비비변기 시스템의 전환에 대한 표본 지불의사 측정

프로빗 모형으로 추정된 지불의사함수 중 단순모형인 모형 (1)의 계수 추정치와 실험설계변수들의 표본평균을 사용하여 표본 지불의사(WTP)를 추정한 결과가 <표 6>의 하단에 제시되어 있다. 응답자들은 비비변기 시스템 구축을 위해 5년 동안 한시적으로 가구당 월 12,300원 정도를 바이오에너지금 형식으로 지불할 의사가 있는 것으로 측정되었다. 지불의사에 긍정적으로 반응한 이유로는 비비변기 시스템이 현재의 분뇨처리 시스템에 비해서 친환경적일 것 같고, 수세식 변기 사용 시 필요한 물을 대폭 줄일 수 있으며, 인분 속 메탄을 이용하여 전기와 열 회수가 가능한 시스템을 구축한다는 점 등을 꼽았다.

기존문헌에서는 주로 전기나 가스 중 한 유형의 바이오에너지 생산에 대한 지불의사를 측정한 반면에(이철용, 2014; 유승훈 등, 2015), 본 연구는 물 사용 절감, 전기와 가스 생산 그리고 퇴비 생산 등 여러 유형의 편익이 포괄적으로 반영되었다고 볼 수 있다. 사이언스월드 연구진이 CVM 시나리오로 제시한 3인 가족 1,000세대가 비비변기를 사용한다면 실현될 것으로 예상되는 월간 수돗물 감소량과 회수된 전기나 가스 발생량 그리고 퇴비 판매액을 계산하였다. 이 공동체 절감액을 각 가정에 배분한다고 가정할 때 예상되는 가구당 공공요금 절감액이 수돗물과 전기 및 가스 사용 시나리오에 따라서 가구당 월 7,800원에서 18,800원으로 산정되었다.¹³⁾ 본 CVM 연구에서 추정된 월평균 지불의사 12,300원은 가구당 예상되는 요금 절감액의 범위에 속하였다.

13) 물론 만약 특정 공동체에 비비변기 시스템 구축계획이 세워져 경제성 분석을 수행한다면, 본 연구에서 도출된 사회적 편익 이외에도 바이오에너지시설 건설과 운영에 필요한 비용 산정도 필요하다.

V. 결론 및 정책적 시사점

2018년부터 시행되고 있는 자원순환기본법에서는 폐기물 관리정책이 자원회수(recovery)를 적극 권장하는 방향으로 확대되고 있다. 이러한 정책방향 하에서 앞으로 폐기물에서 희소자원을 회수하려는 친환경적 신재생에너지 기술에 대한 연구개발이 활성화 될 것으로 예상된다. 그러나 신재생에너지 기술의 사업화에는 개발된 기술에 대한 주민들의 수용성과 특정 지역 입지에 대한 사회적 수용성이 전제되어야 할 것이다.

본 연구는 2018년 12월에 실시된 전국기반 웹기반 설문조사에 참여한 1,613명의 표본을 대상으로 울산과학기술원에서 연구·개발하고 있는 물 사용을 줄이고 바이오에너지를 회수할 수 있는 비비번기 시스템에 대한 개별 가구들과 공동체의 수용성 정도를 조사하였다. 분석방법은 진술선호를 측정하는 CVM을 적용하였다. 표본의 80% 가까이가 현재 사용하고 있는 수세식 화장실을 그대로 사용할 수 있음에도 친환경적 번기인 비비번기를 가정에서 사용할 의도가 있다고 응답하였다. 이는 수세식 번기에 비해 냄새나 위생 정도가 나쁘지 않다는 전제 하에서 비비번기에 대한 심리적 수용성이 높음을 보여주었다. 지역 사회적 수용성을 조사하기 위해 아파트 단지 혹은 단독주택 공동체에 인분을 활용한 바이오에너지 센터 건립계획에 대한 지불의사가 있는지의 여부를 질문하였다. 그 결과 표본의 87% 정도가 정의 지불의사가 있다고 응답하였고, 가구당 월평균 지불의사는 12,000원 정도로 측정되었다. 다시 말하면 친환경 비비번기 선택의도에 반영된 개별 가구의 수용성과 아울러 바이오에너지 센터 건립이라는 지역 공동체 수용성도 높다는 것을 의미한다.

본 연구결과는 국내에서 태양광이나 풍력 등 신재생에너지에 대한 국민적 지지는 높지만 막상 특정지역에 발전설비를 설치하려고 할 때에는 지역사회의 반발이 상당히 심해 사회적 갭(social gap)이 있다는 연구결과(이철용, 2014)와 대비된다고 볼 수 있다. 물론 본 연구가 비비번기 시스템 구축에 대한 가상 시나리오에 근거한 점을 감안하더라도, 개별 가구

수용성과 아울러 지역 공동체 수용성도 높은 이유로는 친환경적인 변기를 사용함으로써 수도요금을 절약하고 바이오 에너지를 생산을 통해 금전적 이득을 얻을 수 있다는 점이 공동체 내 부정적 인식을 낮추었을 가능성이 있다. 또한 바이오에너지 센터에서 생산된 전기나 가스가 다시 공동체 내 가구들에 배분될 수 있어서 이익을 공유하려는 시도도 긍정적으로 작용하였다고 볼 수 있을 것이다.

비비변기에 대한 개별 가구의 수용성이나 비비변기 시스템에 대한 공동체적 진술선호 모두 응답자들이 거주하는 주택유형이나 도시규모 그리고 소득수준에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 반면, 주택소유자들의 비비변기에 대한 수용성이 임차인에 비해 낮았는데 이는 소유자들이 비비변기로의 전환비용을 부담해야 한다는 현실적인 문제까지 생각하고 응답했기 때문인 것으로 짐작된다. 응답자들의 인분이나 수세식 화장실에 대한 인식 및 신재생에너지 관련 태도나 경험변수들이 개별가구의 심리적 수용성과 공동체 선호에 모두 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 인분이 유기물을 많이 포함하거나 자원이라고 생각하는 사람들일수록 그리고 우리나라가 물 부족 국가인데 수세식 화장실이 물을 많이 쓴다고 생각하는 사람들일수록 심리적 그리고 사회적 수용성 모두 높은 것으로 나타났다. 나아가서 바이오에너지 열효율이 좋거나 신재생에너지가 원전의 대안이라고 생각하는 사람들일수록 역시 비비변기와 시스템에 대한 수용성이 높은 것으로 나타났다. 이처럼 인구통계학적 변수들보다는 개인들의 인식 및 태도변수들이 그들의 수용성이나 진술선호에 일관되게 영향을 미치는 것은 대안적 변기시스템을 포함하여 신재생에너지 기술을 사업화하고자 할 때 관련 기술의 환경적 배경지식이나 기대효과 등에 대한 교육이나 홍보를 통해 사회 구성원의 인식이나 태도를 바꾸는 것이 중요하고 효과적임을 시사한다고 볼 수 있다.

또한 본 연구에서 도출된 공동체 기반 비비변기시스템 구축에 대한 지불의사는 사회적 편익의 추정치로서 사용될 수 있어서, 울산과학기술원과 같은 연구기관에서 개발하여 현장에 적용하려는 기술사업화 계획의 사전

적 타당성을 평가하는 데 사용될 수 있을 것이다. 그런 측면에서 본 연구 결과는 대안적 번기시스템 구축뿐만 아니라 신재생에너지사업의 경제성 분석에 시사하는 바가 크고, 신재생에너지정책의 우선순위 결정이나 연구 개발정책의 방향을 도출하는 데에도 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

■ 참고문헌 ■

- 김상래, 2014, 『미래사회 대응 친환경 공정 기술개발 분노 분리를 통한 메가시티 (Mega City) 자원순환 기술개발 동향』, 서울: 한국환경산업기술원.
- 김재영, 2015, 『소규모 주거지역 단위별 무배출 자원순환 기술개발』, (자원순환정책 대응기술 = Technologies for the waste recycling policy 환경정책기반공공기술 개발사업 최종보고서), 세종: 서울: 환경부; 한국환경산업기술원.
- 유승훈·김호영·박소연·백민지·김명관, 2015, 『폐기물 기반 바이오가스 보급확대의 경제적 편익분석 실습 연구 보고서』, 인천: SL공사.
- 이상훈·윤성권, 2015, “재생에너지 발전설비에 대한 주민 수용성 제고 방안,” 『환경법과 정책』, 15, pp.133-166, DOI: 10.18215/envlp.15..201509.133.
- 이철용, 2014, 『신재생에너지에 대한 지불의사액 추정 및 사회적 수용성(PA) 제고 방안』, (기본연구보고서; 14-13), 의왕: 한국에너지경제연구원
- 정성삼, 2017, 『신재생에너지 주민수용성 제고방안 연구』, (수시연구보고서; 17-03), 울산: 한국에너지경제연구원.
- 환경부, 2017, 『유럽연합의 순환경제 액션플랜』, (해외발간보고서 요약), 서울: 한국환경산업기술원.
- _____, 2018a, 자원순환기본법, 법률 제15840호.
- _____, 2018b, 『환경통계연감』, 세종: 환경부.
- Albrecht, M., I. Blackett, and I. Arianto, 2010, *Ecological sanitation: Social factors impacting use of EcoSan in rural Indonesia*, (Water and Sanitation Program: Learning note), Washington D.C.: World Bank.
- Ariunbaatar, J., A. Panico, G. Esposito, F. Pirozzi, and P. N. L. Lens, 2014, “Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste,” *Applied Energy*, 123(15), pp.143-156, DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.02.035.
- Crockett, J., S. Oliver, C. Millar, M. Jefferson, D. Partnership, and B. Burrows, 2003,

- Feasibility study for a dry composting toilet and urine separation demonstration project*, (e4215) GHD Global.
- Dbida, D., 2019, *Mad science plan to power the world with poop*, Report from Stockholm Environment Institute (SEI).
- Freeman, A. M., 2003, *Measurement of environmental and resource values: Theory and method*, Washington D.C.: Resource for the Future.
- Ignacio, J., R. Malenab, C. Pausta, A. Beltran, L. Belo, and R. Tanhueco, 2018, "Perceptions and attitudes toward eco-toilet systems in rural areas: A case study in the Philippines," *Sustainability*, 10, pp.521-540, DOI: 10.3390/su10020521.
- Kristensen, H., 2018, "What influence people's willingness to install compost toilets: A case study from Sarawak," A Master Thesis submitted to Norwegian University, Malaysia.
- Lee, H., K. Cho, C. Lee, J. Cho, H. Yi, and Y. Seo et al., 2017, "Science walden: Exploring the convergence of environmental technologies with design and art," *Sustainability*, 9(1), p.35, DOI: 10.3390/su9010035.
- Lienert J., K. Thiemann, R. Kaufmann-Hayoz, and T. A. Larsen, 2006, "Young users accept NoMix toilets - A questionnaire survey on urine source separating toilets in a college in Switzerland," *Water Science and Technology*, 54(11-12), pp.403-412, DOI: 10.2166/wst.2006.920.
- Mukherjee, S. and D. Chakraborty, 2016, *Turning human waste into renewable energy: Scope and options for India*, (MPRA(Munich Personal RePEc Archive) paper no. 73669), Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/73669/>.
- Ng, B. J. H., A. Giannis, V. W. C. Chang, R. Stegmann, and J. Y. Wang, 2012, "Modeling decentralized source separation systems for urban waste management," *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 6(8), pp.496-500, DOI: 10.5281/zenodo.1328206.
- Onabanjo, K. P., S. Wagland, B. Fkdalga, A. Kolios, E. McAdam, and A. Parket et al., 2016, "Energy recovery from human faeces via gasification: A thermodynamic equilibrium modelling approach," *Energy Conversion and Management*, 118, pp.364-376, DOI: 10.1016/j.enconman.2016.04.005.
- Onojo, O. J., G. A. Chuckwudebe, E. N. C. Okafor, G. C. Ononiwu, and N. Chukwuchekwa, 2013, "Estimation of the electric power potential of human wastes using students hostel soak-away pits," *American Journal of Engineering Research*, 2(9), pp.198-203.

- Rauch, W., D. Brockmann, I. Peters, T. A. Larsen, and W. Gujer, 2003, "Combining urine separation with waste design: An analysis using a stochastic model for urine production," *Water Research*, 37(3), pp.681-689, DOI: 10.1016/S0043-1354(02)00364-0.
- Russel, K., S. Tilmans, S. Kramer, R. Sklar, D. Tillias, and J. Davis, 2015 "User perceptions and willingness to pay for household container-based sanitation services: Experience from Cap Haitien, Haiti," *Environment & Urbanization*, 27(2), pp.525-540, DOI: 10.1177/0956247815596522.
- Thames Water, 2016, Thermal hydrolysis process-Case study, London, England, <https://www.thameswater.co.uk/-/media/site-content/corporate-responsibility/pdfs/thp.pdf>.
- United Nations University, 2015, *Vast energy value in human waste: Energy, waste, technology*, A Report from Institute for Water, Environment and Health.
- World Bank, 2015, *WASH POST-2015: Proposed targets and indicators for drinking - water, sanitation and hygiene-consolidated fact sheet*, Geneva: WHO/ UNICEF.
- World Health Organization (WHO), 2018, *Guidelines on sanitation and health*, Geneva: World Health Organization.
- Yu, H., E. Roman, and W. D. Solvang, 2018, "A Value chain analysis for bioenergy production from biomass and biodegradable waste: A case study in Northern Norway." *Energy Systems and Environment*, pp.183-206, DOI: 10.5772/intechopen.72346.
- Bill and Melinda Gates Foundation, 2019, "Water, sanitation and hygiene project," <https://www.gatesfoundation.org/>.

엄영숙: 미국 노스켈롤라이나 주립대학 경제학과에서 경제학 박사학위를 취득하였으며, 현재 전북대학교 경제학부에서 교수로 재직하고 있다. 관심분야 환경질 및 자연생태계 가치평가, 폐기물 에너지 회수 등 순환경제 그리고 공공투자사업 경제성 분석 등이다. 최근저술로는 “미세먼지 건강위험과 회피행동: 야외여가활동수요 감소를 사례로 (2019)”, “공원일몰제 시행과 도시녹지 서비스에 대한 서울시민들의 선호측정: 아파트 실거래 기반 헤도닉가격접근법을 적용하여(2019)” 등이 있다(yeom@jbnu.ac.kr).

오형나: 미국 Cornell University에서 계량화방법론으로 박사학위를 취득했으며 현재 경희대학교 국제학부 교수로 재직하고 있다. 주요 관심분야는 기후변화, 미세먼지의 건강위해, 지속가능발전, 정부실패이며, 주요 논문은 “Korea’s approach to overcoming difficulties in adopting the emission trading scheme(2017)”, “환경교육의 파급효과: 체험중심 환경교육의 영역내·영역간 파급효과를 중심으로(2019)”, “Limited Income Mobility: Empirical Evidence from Korea(2018)” 등이 있다(h.oh@khu.ac.kr).

조재원: 미국 콜로라도대학에서 환경공학 박사를 취득하였다. 전공은 환경공학 수처리 분야이며 수돗물, 생태적인 하수처리와 재이용을 위한 인공습지, 해수담수화 분야이다. 환경이 열악한 아프리카, 동남아시아 지역의 소외된 마을 어린이들을 위한 정수기, 화장실 보급 연구 및 한반도 통일 준비를 위한 북한 물 문제 연구를 하고 있다. 과학예술융합 연구 사이언스월든 센터의 연구책임자를 맡고 있으며 동본위화페 개념을 발표하였다(jaewoncho@unist.ac.kr).

김자애: 포항공과대학교 환경공학부에서 환경생물공정학 박사학위를 취득하였으며, 현재 울산과학기술원 도시환경공학부에서 연구부교수로 재직하고 있다. 관심분야는 과학예술 융합연구(사이언스월든)와 미생물을 이용한 다양한 유기성폐기물의 바이오에너지화 연구 등이다. 주요 논문은 “Anaerobic co-digestion of food waste, human feces and toilet paper: Methane potential and synergistic effect(2019)”, “Ulvabiomass as a co-substrate for stable anaerobic digestion of spent coffee ground in continuous mode(2018)” 등이 있다(jaai@unist.ac.kr).

투 고 일: 2019년 09월 10일
심 사 일: 2019년 09월 16일
게재확정일: 2019년 09월 24일