

지속가능 미래도시를 위한 근린주거 규모 물-식량-에너지 넥서스

Neighborhood-scale Water-Food-Energy Nexus Approach for Urban Sustainability

현재 전 세계 인구의 절반 이상이 도시에 집중되어 있으며 특히 우리나라의 경우 도시 거주 인구 비율이 이미 90%를 넘어 도시 기반의 물관리는 그 어느 때보다 중요한 시점에 와 있습니다. 이에 한국물환경학회는 점차 확장되는 도시환경에서 지속가능한 물관리가 가능토록 다양한 방안을 고민하고 이에 대한 의견을 공유하기 위하여 Water4FutureCity를 발간하게 되었습니다. Water4FutureCity는 미래도시와 미래세대를 위한 물이라는 의

미와 동시에 최근 화두인 4차산업혁명 및 David Sedlak의 저서 “Water 4.0” 과 같이 새로운 물환경관리 패러다임의 의미를 담고자 하였습니다. Water4FutureCity의 발간을 담당하고 있는 미래도시물환경기술위원회 위원들은 우리 위원회의 향후 활동방향과 Water4FutureCity의 제작 방향에 대한 건설적인 논의를 하였습니다. 그 결과 최근 국내외적으로 화두가 되고 있는 도시물 환경기술을 선정하여 집중적으로 살펴보고 우리나라 도시의 물

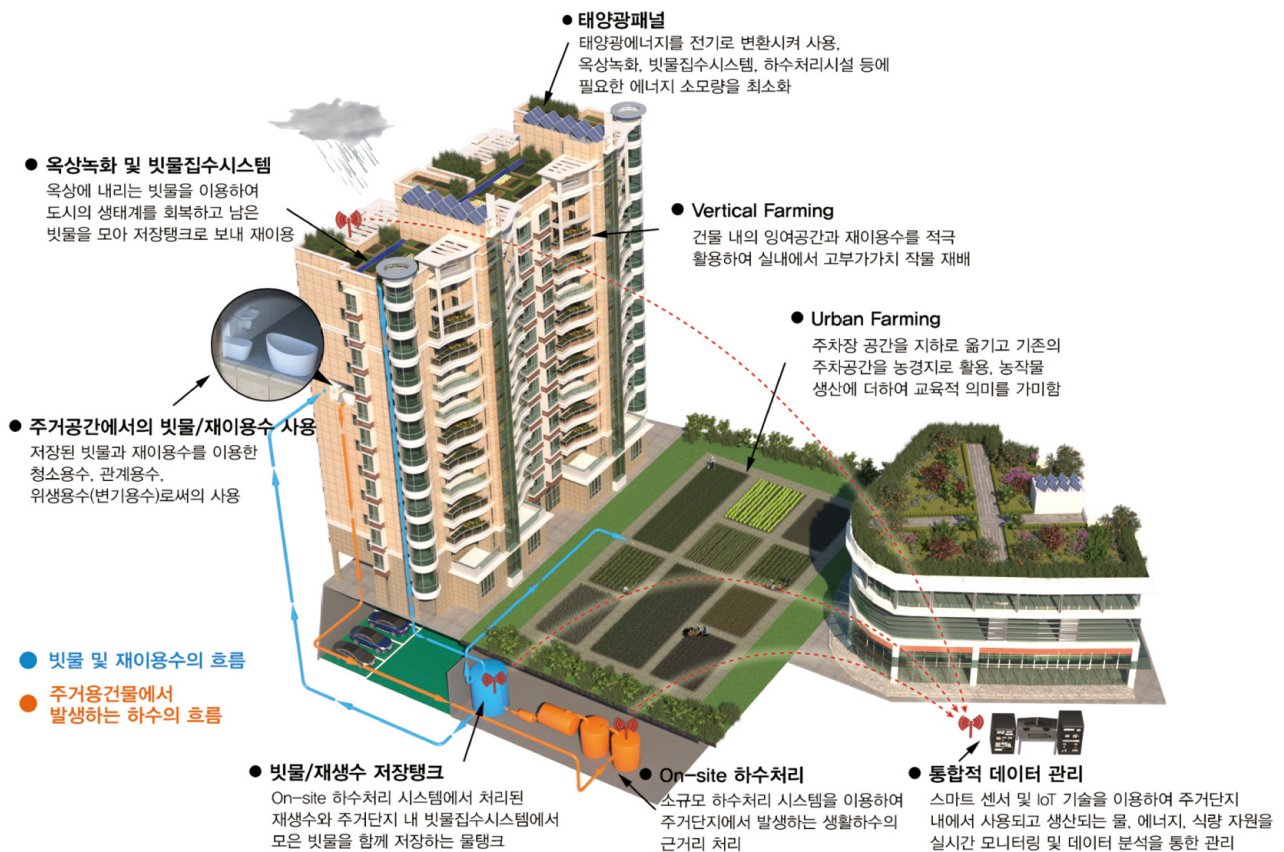


그림 1. 근린주거 규모 물-식량-에너지 자원의 통합적 운영 및 관리 방안의 예.

환경관리 지속가능성을 위한 방향을 제시코자 하였습니다. 또한 여기에서 발간된 내용들은 우리 학회의 학술발표회와 포럼에서 공유하는 자리를 가질 계획입니다. Water4FutureCity 1호는 그 첫 번째 주제로 도시환경에서의 Water-Food-Energy Nexus 적용방안에 대해 논의하였습니다.

Water-Food-Energy Nexus 기본 개요

인류 증가와 생활수준의 향상 등으로 전 세계의 물, 식량, 에너지에 대한 수요는 지속적으로 늘어나고 있으며 그 수요 및 공급과 관련된 문제는 서로 밀접하게 연관되어 있다. 현재 전 세계 취수량의 약 70%가 식량 생산에 사용되고 있으며 산업용수의 대부분이 에너지 생산에 사용되고 있다. 이는 하수처리장에서 생산된 메탄으로 에너지를 생산하거나 슬러지를 퇴비화하여 식량생산에 활용하는 등 선순환적인 측면으로도 적용된다. 신에너지 자원 개발로 인한 물 자원 부족, 물 자원 개발로 인한 에너지의 수요 증가 등 물, 식량, 에너지 자원을 개발하는데 있어서 발생하는 상충적인 문제를 해결함에 있어, 기존에는 각각의 영역에 대해서 독립적인 접근법을 취해 왔다. 최근 들어, 물, 에너지, 식량 자원의 지속 가능한 공급을 위해 자원 문제를 복합적으로 접근하는 Water-Food-Energy 연계(nexus) 해석 기법이 주목받고 있다. 지속 가능한 발전을 위해서는 물, 식량, 에너지 자원의 연계성을 이해하고 통합적으로 관리함으로써 이들 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 기술 및 시스템의 개발이 필요하다.

도시환경 안에서의 Water-Food-Energy Nexus

인구와 산업의 도시 집중 현상은 개발도상국, 선진국을 막론하고 전세계적으로 진행되고 있는 현상이며, 이로 인해 물, 식량, 에너지 등 자원의 수요가 특정 지역에 편중되고 있다. 도시 환경에 적합한 물, 식량, 에너지 자원의 통합적 관리를 통한 효율적인 관리 및 재생산의 극대화가 어느 때보다 절실한 시점이다. 본 필진은 이를 위해 국내의 도시환경에 적용 가능한 물-식량-에너지 연계 관리 방안을 모색해 보고자 한다. 아파트 단지가 도시 면적의 많은 부분을 차지하는 국내 도시 환경의 특성을 고려할 때, 아파트 단지와 상가를 포함하는 근린주거 규모(neighborhood-scale)에서의 물, 식량, 에너지 자원의 복합적 운영 및 관리의 개선을 우선적으로 고려해야 볼 필요가 있다. 이번 이슈레터에서는 주거용 건물 내의 순환적 물-에너지 통합관리 시스템, 도시 농업, 옥상 정원 등, 국내외의 Water-Food-Energy Nexus 관련 기술 및 사례들을 소개하고 이를 건물 및 근린주거 규모에서 적용할 수 있는 방안(그림 1)에 대하여 소개하고자 한다.

주거환경 내 Water-Energy

미국 연방정부의 연간 전체 운영예산의 약 10%가 에너지 사용에 따른 비용으로 알려져 있고¹, 그 중에서도 정수 및 하수 처리에 쓰이는 펌프, 모터, 다른 24시간 가동되는 여러 운전설비에 의해서 도시 에너지 예산에 약 35%가 쓰인다고 보고되

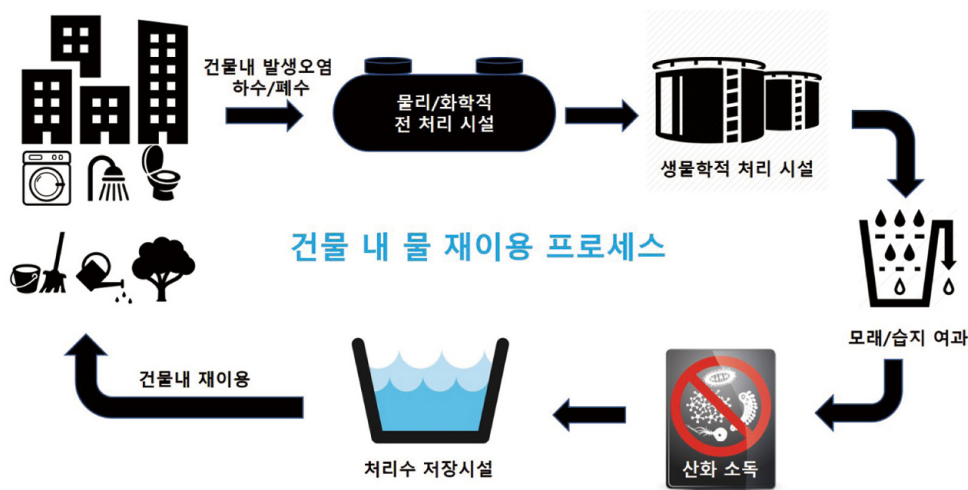


그림 2. 건물 현장(on-site)의 물 재이용 프로세스.

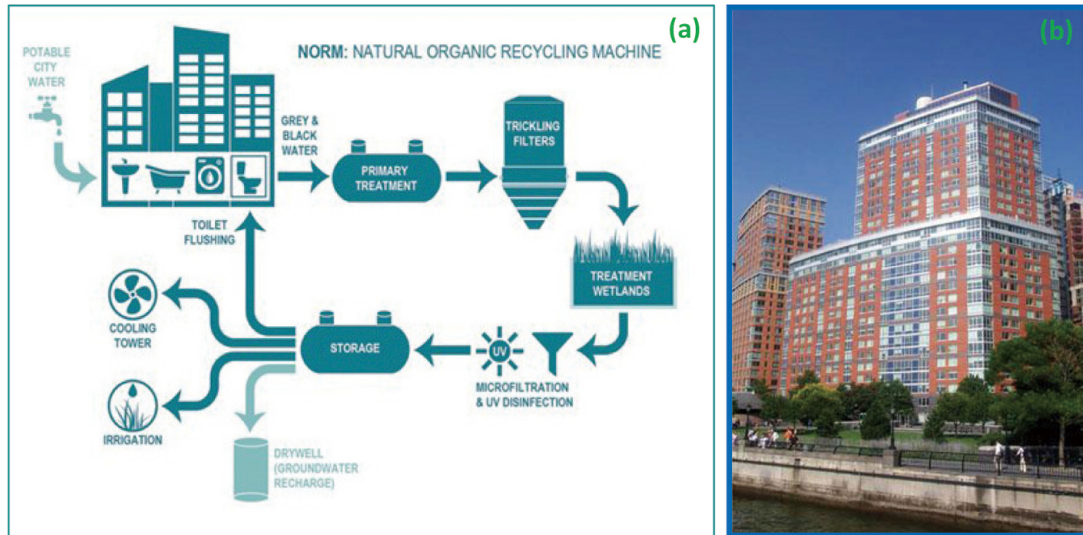


그림 3. 물 재이용이 적용된 미국 맨해튼의 Solaire 아파트 건물. (출처: Cosetini⁴⁾)

었다.² 또한, 미국 전체 에너지 사용량의 약 3~4%가 정수 및 하/폐수 처리에 쓰이고, 이 때문에 약 4천5백만톤의 온실가스가 매년 발생한다고 보고되었다.³ 특히나 엄청난 양의 에너지가 상수 및 처리된 물의 수송에 쓰이게 되어, 최근 들어서는 도시 내 발생하는 하/폐수 집적화 후 처리(centralized water treatment)가 아닌 건물 내의 on-site 처리(decentralized water treatment) 기술들이 많이 개발되고 실제 적용되고 있다. 기본적으로 건물 내 발생하는 하수의 재사용을 위해서는 1) 물리/화학적 전 처리 시설, 2) 생물학적 처리시설, 3) 모래 또는 습지여과 시설, 4) 마이크로 여과시설 또는 산화소독 시설, 그리고 5) 처리된 물의 저장시설 등이 필요하다 (그림 2). 이렇게 처리된 물은 화장실 변기물, 건물의 냉각수, 건물 안/밖의 관개용수, 그리고 지하수 충전 등에 쓰일 수 있다.

이러한 on-site 물 재생 건물은 전 세계적으로 프로젝트화 되어 많이 진행되고 있는데, 그 중에서도 미국 뉴욕 맨해튼의 Solaire 아파트가 미국 녹색 건축 협회(Green Building Council)에서 Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Gold 인증을 최초로 받은 대표적인 사례이다 (그림 3). Solaire의 가장 중요한 녹색 구성 요소 중 하나는 건물의 지하실에 설치된 멤브레인 생물 반응기 기반의 약 200 m² 면적의 폐수 처리 및 재활용 시스템이다.

Solaire 지하에 위치한 약 95 m³/day 규모의 하수처리 시스

템은 일관된 재생 수질을 유지한다는 것이 입증되어 화장실 변기물, HVAC 냉각수 및 인접한 공원의 관개수와 같은 용도로 재사용되고 있다. 이와 더불어, 빗물을 모으는 약 38 m³의 빗물저장 탱크가 설치 되어있고, 수집된 빗물은 모래필터와 염소 소독 처리를 한 후에 19층과 28층에 위치한 2곳의 녹색 지붕의 식물 관개수로 쓰인다. 이러한 노력의 결과로, Solaire 건물은 물 재생 시스템이 갖추어 지지 않은 뉴욕시의 다른 아파트 건물과 대비하여 물 소비량과 에너지 소비량을 각각 50%와 35% 감축하고 있다. 특히, 건물에 장착된 382개의 태양 전지패널로 건물의 기본 전기사용 부하량의 약 5%를 생성함과 동시에 원거리 상수 및 하수 수송에 쓰여지는 에너지를 대폭 절약함으로써 전기사용 피크 시간에 발생하는 전기사용량을 약 65% 절감하고 있다.⁵

이렇듯 건물 내 Water-Food-Energy Nexus의 발전 및 적용을 확대하기 위해서는 중요하게 고려해야할 몇 가지 사항들이 있다. 첫째, 안정화된 on-site 물 재생 시스템의 원격운전 관리 시스템 개발이 필요하다. 집적화 된 물 재생 시설들은 이미 안정화된 원격운전관리 시스템을 갖추고 있다. 하지만, on-site 물 재생 시스템의 경우 각 건물의 특성과 하수특성에 따라 물 재생 프로세스가 다르게 적용될 것이고, 각 상황에 맞는 최적화된 on-site맞춤형 원격운전관리 시스템을 모듈화하여 개발하여야 할 것이다. 둘째, on-site 물 재생 시스템을 포함하여 건



그림 4. 다양한 형태의 도심지 농업. (출처: LA Urban Farms; Gotham Green; Chicago Architecture; Robotics Business Review⁷⁻¹⁰⁾)

설되는 건물에 대한 정부의 강력한 인센티브 정책이 뒷받침 되어야 한다. 특히 상주인구가 많은 대단위 건물에서 발생하는 하수를 on-site에서 재생하여 재사용할 경우 물과 에너지의 저감 효과가 크기 때문에, 정부는 이러한 건물들의 건축과정에서부터 사후운전관리 비용에 대한 포괄적이고 강화된 인센티브 정책을 마련해주어야 한다. 마지막으로 지속적인 교육/홍보/연구가 필요하다. 우리나라는 세계적인 물 부족 국가이다. 하지만, 세계에서 5번째로 많은 가상수(virtual water, 제품을 생산하는 전 과정에서 사용되는 물을 지칭하며 우리나라는 연간 약 320억톤의 가상수를 수입함) 수입 국가이기 때문에 국민들이 피부로 물 부족을 느끼지 못하고 있는 실정이다.⁶ 때문에 범 국가적인 차원에서 지속적인 물 절약 및 재사용에 대한 교육 및 홍보를 하고, 대단위 물 재생 센터의 건설보다는 상대적으로 작은 규모의 건물 내 on-site 물 재생 시스템에 대한 산학연의 체계적인 공동연구가 절실히 필요하다.

도심지 농업(Urban Agriculture)

도심지 농업은 도시환경에서 Water-Food-Energy Nexus

라는 개념을 논함에 있어서 빼놓을 수 없는 요소이다. 산업화와 도시화로 인해서, 대부분의 선진국 및 개발도상국에서 식량의 생산과 소비는 공간적으로 분리되어 있다. 이에 따라서 농작물, 축산물 및 식료품의 운송, 냉장, 보관 등에 막대한 양의 에너지가 사용되고 있으며 이를 탄소발자국으로 환산하면, 기후변화에도 막대한 영향을 끼치고 있다는 것을 알 수 있다. 이에 대한 해결책 중 하나로, 미국과 캐나다, 북구 유럽의 선진국을 중심으로 도심지 농업에 대한 관심이 급증하고 있다. 도심지 농업이란, 도시의 테두리 안에서 행해지는 모든 형태의 식량 생산 활동을 일컫는 용어이며, vertical farming, rooftop farming 등의 다양한 형태로 연구, 시도되고 있다.¹¹ 상대적으로 건물 간 공간이 넓은 중소 규모의 도시보다도 오히려 뉴욕, 시카고, 로스앤젤레스 등 시설들이 밀집해 있는 대도시를 위주로 시도되고 있음을 볼 때 국내의 실정에도 충분히 적용이 가능한 개념으로 생각된다.

도시환경에서 식량을 생산한다는 개념은 환경과 에너지 측면에서 볼 때 매우 매력적이다. 식량의 생산자와 소비자가 동일한 공간에 존재한다는 것은 에너지 측면에서 볼 때 매우 효율적이다. 국내의 데이터는 충분하지 않으나, 미국이나 유럽

의 사례를 볼 때 tonne-km로 산출된 농산품이나 식량의 운송량은 총 운송량의 약 30%를 상회한다.¹² 때문에 도시의 공간을 농경지로 활용하여 생산과 수요를 동일한 공간에 위치하게 할 수 있다면 운송에 소요되는 연료를 크게 절약할 수 있음은 자명한 사실이다. 도심지 농업은 그 적용 방법에 따라서 에너지 소요를 줄일 수 있다는 장점을 지니기도 한다. 옥상을 농경지로 활용할 때, 외부 기온에 의한 건물의 온도변화 폭을 줄여 냉난방비를 크게 절약할 수 있다는 연구결과가 도출된 바 있으며, 건물에서 발생하는 열을 활용해서 온실을 운영하면 겨울철 농업에 소요되는 에너지량을 크게 줄이는 것도 가능하다. 실제로 뉴욕시에서 운영되고 있는 Gotham Greens의 사례를 볼 때 20년의 수명 기간에 걸쳐서 6.8 GWh의 에너지 절약 효과를 얻을 수 있을 것으로 예측된 바 있다.¹³

Water-Food-Energy Nexus의 다른 한 축을 이루는 물 관리 측면에서도 도심지 농업의 도입을 통한 잠재적인 이익은 무시할 수 없다. 일반적으로 토양은 콘크리트 등에 비해 물을 흡수할 수 있는 능력이 매우 크므로, 친환경적인 stormwater 관리법으로 활용될 수 있다.¹⁵ 여름철 집중호우가 잦은 우리나라의 기후조건을 감안할 때 도심지에서의 효과적인 stormwater 관리는 가장 우선적으로 해결해야 할 과제 중 하나이므로 이는 매우 큰 이점이 아닐 수 없다. 일반적으로 도심지 농업은 물 소요량이 일반적인 형태의 농업에 비해서 적을 뿐 아니라 얼마든지 부분 처리된 생활하수(중수)를 현지에서 제공받을 수 있다는 장점을 가지고 있다. Vertical farming, hydroponic farming 등 실내 농업 방식을 활용하면 발산 작용을 통해서 배출되는 수증기를 다시 포집하여 물로 식물에 공급할 수 있으므로 물 소요량이 저감된다.¹¹ 최근 들어 생활하수 등을 간단한 처리를 통해서 재이용하는 가정용 중수 재활용 기술이 점차적으로 보급되는 추세인데, 중수는 질소, 인 등의 영양분을 다소 함유하고 있는 경우가 대부분이기 때문에 식수로로는 적합하지 않으나 작물 배양에는 매우 유용한 수자원이다. 중수를 도심지 농업에 활용할 경우 물 재이용을 통해서 물을 효율적으로 이용할 수 있을 뿐 아니라 중수에 함유된 영양분을 활용함으로써 비료 소요량을 줄이는 동시에 하수로부터 추가적인 영양분 제거를 달성할 수 있다는 이점을 지닌다.¹⁵

이처럼 많은 이점을 갖고 있는 도심지 농업이지만 해외에서

도 대규모로 시행되고 있지는 않으며, 특히 국내에서는 아직까지는 본격적인 보급이 이루어지고 있지는 않다. 토양의 하중이 건물의 내구성에 미치는 영향, 도심지의 부족한 일조량, 부족한 경제성, 직군으로써 ‘농부’가 갖는 부정적인 이미지 등의 기술적, 사회적 장애요소들이 존재하고 있기 때문일 것이다. 하지만 이러한 장애요소들은 기술 개발, 환경비용의 감축, 미관적 효과, 교육적인 기능 제공 등에 대한 금전적 보상 등을 통해서 다소 해결할 수 있을 것이다. 사계절이 뚜렷하고 강우량이 특정 기간에 집중되어 있는 국내의 자연환경, 인구의 도시 집중현상이 심하고 도심내 녹지가 매우 부족한 국내의 사회환경에도 도심지 농업은 매우 잘 부합된다고 생각되며, Water-Food-Energy 문제의 통합적 해결책을 마련함에 있어서 반드시 포함되어야 할 부분이라 생각된다.

Water-Food-Energy Nexus관점에서 보는 옥상녹화 (Green Roof)

옥상녹화는 도시 내에서의 생태계 회복 및 녹색화라는 목적으로 건축물 옥상에 식물을 식재하는 것으로 최근 국내외의 많은 건축물에 적용되기 시작하였다. 태양열 반사작용과 옥상 식물들의 증발산을 통해 도심 열섬 효과를 완화하고 식물들의 흡수작용을 통하여 대기오염물질을 저해 하는 등 도시환경에서 옥상녹화가 가져오는 여러 장점은 이미 많이 알려져 있다. 도시 환경에서의 Water-Food-Energy Nexus 관점에서 바라보았을 때도 옥상녹화는 도심에서의 효율적인 자원 사용을 위한 중요한 옵션 중 하나로 여겨질 수 있다.

도시에서는 대부분의 표면이 물을 흡수하지 않는 불투수성 물질로 구성되어 있어 빗물이 토양에 침투하지 못하고 배수구 등을 통해 바로 하천으로 흘러나가게 된다. 또한 도시에서 사용되는 대부분의 물은 그 용도와 상관 없이 모두 정수처리장을 거쳐나오는 “마실 수 있는 물” 기준으로, 이러한 물의 공급과 처리를 위해서 많은 에너지가 소비된다. 이러한 가운데 건물에 옥상녹화가 있는 경우 토양 및 식재가 빗물을 흡수 및 사용하며, 폭우시에도 우수유출량을 저감시켜 홍수를 예방할 수 있는 등 도시의 물 수용량 및 사용률을 높이게 된다.¹⁶ 또한 옥상녹화와 빗물집수장치(Rainwater Harvesting System)

를 복합적으로 사용할 경우 옥상녹화에서 회수한 빗물을 건물에 저장·재이용하게 되어 도시에서의 새로운 수자원의 확보를 가능케 한다. 예를 들어 앞서 언급한 Solaire건물은 옥상녹화에 내린 빗물을 38 m³ 크기 탱크에 저장하여 옥상정원에 필요한 물을 정기적으로 공급하는데 사용하고 있다.⁴ 이외에도 간단한 전처리를 통해 화장실이나 세탁, 또는 옥상 외 (베란다 등에서의) 식물 재배 용도에도 사용될 수 있다. 이처럼 옥상녹화는 도시환경 안에서 비교적 낮은 energy input으로 필요한 물을 공급하는 수단으로 사용될 수 있다.

또한, 옥상녹화는 태양열 반사작용과 옥상 식물들의 증발산을 통해 열섬 효과를 완화해주며 건물 안에 냉난방기로 소모되는 에너지량을 저감하는 등 도시환경 내에서의 에너지 사용을 억제하는 이점도 있다. 특히 여름에 옥상녹화를 통해 자연공조 효과가 나타난다고 다수 보고되고 있으며 옥상녹화가 없을 경우와 비교하여 건물 실내 온도가 섭씨 1-3도 정도 낮게 측정되고 이를 통해 냉난방기로 소모되는 에너지량의 약 2-44%가 저감될 수 있다는 해외 연구 사례도 있다.¹⁷ 다만 아파트나 상가 등 고층건물이 많은 한국의 도시환경에서는 옥상녹화를 통한 에너지 저감량이 아직 구체적으로 밝혀진 바 없어 추가적인 연구가 필요하다. 옥상녹화로 회수한 빗물 중 일부를 건축물의 지하에 저장하여 지열냉난방 시스템에 활용하여 에너지 소비를 저감하는 방안 등도 검토할 수 있는 부분이다.

이외에도 옥상 녹화에 정원이 아닌 텃밭을 설치하여 농작물을 재배하는 것 또한 앞서 언급한 도심지 농업의 일부로 옥상녹화를 이용한 중요한 방안 중 하나로 볼 수 있다. 물론 도심지 농업이 도시에서 요구되는 음식량을 모두 공급하는 방안으로 대체될 수는 없으나 그 중 일부라도 도시환경에서 생산될 경우 생산과 소비의 거리를 줄여 그에 필요한 물과 에너지 양을 줄일 수 있다. 또한 옥상 녹화를 이용한 텃밭 같은 경우 거주자들의 스트레스 해소, 기분전환, 운동, 및 소통 장소 제공 등 정서적 건강향상에도 긍정적인 효과를 보일 수 있다.

이와 같이 옥상녹화는 Water-Food-Energy Nexus관점에서 바라보았을 경우에도 많은 이점을 갖고 있다. 하지만 기존 건축물에 적용할 때 구조체에 미치는 하중부하에 대한 고려 및 설치로 인한 초기비용 부담 등의 이유로 한국의 도시에서는 아직 많이 보급되고 있지 않다. 이러한 가운데 도시환경에서의

옥상녹화로 인한 물, 식량, 에너지 자원의 사용 및 관리의 효율성을 향상시키고 비용을 저감하기 위해서는 기술개발 및 시스템 구축과 보급화를 위한 지속적인 연구와 지원이 반드시 필요하다.

결론

이번 이슈레터에서는 Water-Food-Energy Nexus 관점에서 접근하는 도시환경 안에서의 통합적 자원관리 방안을 아파트나 상가와 같은 건물 단위(근린주거 규모)로 집중하여 살펴보았다. 이러한 건축물들은 도시 면적의 대부분을 차지하고 있고 거주자들 또한 대부분의 시간과 자원을 사용하는 장소이다. 이러한 근린주거 규모에서 건물들 각각이 앞서 살펴본 on-site 물 재생과 이용, 도심지 농업, 및 옥상 녹화 등을 적용했을 경우 건물에 필요한 물, 식량, 에너지 자원을 효율적이며 지속적으로 공급할 수 있을 것으로 예상된다. 이외에도 건물에서 배출되는 음식물 쓰레기를 on-site로 처리하여 에너지나 퇴비 등의 자원을 회수하고 사용하는 기술 또한 매력적인 방안이 될 수 있다. 나아가서 전체 도시 규모에서의 물, 식량, 에너지 자원의 통합적 관리를 위해서는 이러한 근린주거 규모에서의 기술이나 시스템의 적용 뿐만 아니라 도시 전체에서의 효율적인 거버넌스 구조와 정책 수립이 반드시 필요하다. 또한, 이러한 근린주거 규모에서 적용되는 기술 및 시스템을 통해 사용(혹은 회수)되는 각 자원들의 연계성을 분석하고 관리하기 위해 스마트 센서와 같은 IoT (Internet of Things) 기반 기술을 사용하여 지속적으로 데이터를 수집하고, 그 방대한 양의 데이터를 적절하게 분석하고 활용하는 방안 등도 검토되어야 한다. Water-Food-Energy Nexus라는 개념은 이미 세계적으로 최근 수년간 논의가 되어왔으나 도시환경에서의 Water-Food-Energy Nexus를 통한 자원관리 방안은 아직 전 세계적으로도 구체화되지 않고 초보단계에 있는 것으로 파악되고 있다. 이러한 가운데 한국 상황에 맞는 도시에서의 통합적 자원 관리의 중장기적 전략을 잘 마련하고 효과적으로 시행될 경우 이는 우리나라의 지속적인 자원 사용에 기여할 뿐만 아니라 국제적으로도 이 분야를 선도할 수 있는 경쟁력을 키울 것으로 기대된다.

참고문헌

1. NYSERDA. (2008) Statewide Assessment of Energy Use by the Municipal Water and Wastewater Sector. New York State Energy Research and Development Authority. Available: http://www.nyseda.ny.gov/~media/Files/EERP/Commercial/Sector/Municipal%20Water%20and%20Wastewater%20Facilities/nys-assess-energyuse.ashx?sc_database=web.
2. U.S. EPA. (2012) State and Local Climate and Energy, Program: Water/Wastewater. Available: <http://www.epa.gov/statelocalclimate/local/topics/water.html>.
3. U.S. DOE. (2005) State Energy Program: Projects by Topic—What Are State and Local Government Facility Projects in the States? Available: <http://www1.eere.energy.gov/wip/sep.html>.
4. Cosentini. (2017) Battery Park City, The Solaire <http://www.cosentini.com/index.php/portfolio-articles/34-residential/221-battery-park-city-the-solaire>
5. Zavoda, M. (2006) NYC High-Rise Reuse Proves Decentralized System Works, WaterWorld. Available: <http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-21/issue-1/features/nyc-high-rise-reuse-proves-decentralized-system-works.html>
6. Korea focus. (2012) Water stress in Korea. Vol 20, No 5.
7. LA Urban Farms (2017) <http://laurbanfarms.com/>
8. Gotham Greens (2017) <http://gothamgreens.com/>
9. ChicagoArchitecture (2017) <http://www.chicagoarchitecture.org>
10. Robotics Business Review (2017) <http://www.roboticsbusinessreview.com/>
11. Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U.B., Sawicka, M., Werner, A., et al. (2014) Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agr. Hum. Val.*, 31:33-51.
12. Pearson, L.J., Linda P., Pearson C.J. (2010) Sustainable urban agriculture: stocktake and opportunities. *Int. J. Agri. Sust.* 8:7-19.
13. Caplow, T. (2010) “Building Integrated Agriculture: Philosophy and Practice” in *Urban Futures 2030 – Urban Development and Urban Lifestyles of the Future*. vol. 5, Heinrich-Böll-Stiftung Ed., Berlin, pp-54-58.
14. McPhearson, T., Hamstead, Z. A., & Kremer, P. (2014) Urban ecosystem services for resilience planning and management in New York City. *Ambio*, 43:502-515.
15. Lovell, S.T. (2010) Multifunctional urban agriculture for sustainable land use planning in the United States. *Sustainability*, 2:2499-2522.
16. Gregoire, B.G., Clausen, J.C. (2011) Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*, 37(6):963-969.
17. Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B. (2010) Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42:1581-1591.

한국물환경학회 미래도시물환경기술위원회

위원장 | 남경필

위 원 | 김민철, 김연주, 김영모, 김철기, 문희선, 박제량, 배대현, 배성준, 서지원, 송재민, 송창근, 신창민, 윤석환,
이두진, 이재상, 이태권, 장선우, 정석희, 정성필, 조강우, 주진철, 최용주, 최정권

Water4FutureCity 1호

서울특별시 종로구 삼봉로 81 두산위브 파빌리온 1137호

Tel. 02-389-4250 | Fax. 02-385-3702 | E-mail. kswe@kswe.org