

스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드의 비교



이 상 호 ▶▶▶
국민대학교 조교수
sanghlee@kookmin.ac.kr

1. 서론

최근들어 ‘스마트 사회간접자본(SOC)’이 미래 사회의 새로운 패러다임으로서 주목을 받고 있다. 스마트 SOC는 교통·전력·의료·환경·교육 등 사회간접자본이 되는 인프라에 IT를 접목해 비용을 줄이고 생산성을 높이는 일련의 움직임을 말한다. 선진국에서는 이미 스마트 SOC 분야의 연구개발과 투자를 통하여 단기적으로는 경기부양과 일자리 창출을 이룩하고, 장기적으로는 새로운 성장동력을 발굴하려는 계획을 수립하여 추진 중이다. 이에 국내에서도 최근에는 스마트 SOC 분야에 대한 관심이 높아지고 있다.

스마트 SOC에서 핵심이 되는 요소는 수자원과 전력의 지능적 관리라고 할 수 있다. 이는 물과 에너지가 지속가능한 사회발전을 위한 필수적인 요소이며 동시에 21세기의 전략자원으로 부각되고 있기 때문이다. 기후변화와 수요증가로 인하여 기존의 기반시설로는 물과 에너지를 안정적으로 공급하기 어려워지고 있으므로, 이러한 한계를 근본적으로 극복하기 위

한 “똑똑한” 수자원 및 전력공급 시스템이 점점 중요해지고 있다. 이로 인하여 수자원 및 전력 분야에서 새로운 글로벌 시장이 형성되고 있으며, 앞으로의 성장가능성은 매우 높은 것으로 전망되고 있다.

수자원을 관리하는 스마트 워터그리드 (Smart Water Grid)와 전력을 관리하는 스마트 파워그리드 (Smart Power Grid)에 대해서는 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 스마트 워터그리드는 수자원 및 상하수도 시스템의 효율향상과 전주기적 통합관리를 위하여 첨단 정보통신 기술을 융합하는 차세대 물 관리 시스템이다. 한편 스마트 파워그리드는 기존 전력망에 정보통신기술을 접목하여 전력망의 신뢰성, 효율성, 안전성을 향상시키고, 전력의 생산 및 소비 정보를 양방향·실시간으로 유통함으로써 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망 기술이다. 이러한 두 가지 그리드 기술 각각에 대해서는 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드의 공통점과 차이점을 분석하고 서로 연계하는 방안에 대해서는 몇몇 연구를 제외하고는 거의 연구가 진행된 바 없다.

따라서 본 고에서는 물과 에너지 관리의 신 패러다임 기술인 스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드의 특징에 대하여 비교분석하고자 하였다. 또한 물과 에너지의 연관성 (Water-Energy Nexus)을 고려한 이들 두 가지 그리드의 결합방법 등에 대한 연구동향과 미래방향에 대하여 전망해보고자 하였다.

2. 스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드의 기본 개념

1) 스마트 워터그리드

기후변화에 의한 강우의 편중성 증가와 가용 수자원의 부족 문제는 갈수록 심각해지고 있다. 또한 인구증가와 도시화로 인한 물 수요 증가는 현재의 물 관리 시스템이 감당할 수 있는 범위를 넘어선 단계이다. 이러한 물 수요와 공급의 불균형은 단지 수자원의 양적인 부족에만 기인하는 것이 아니라, 기존 물 관리 시설의 비효율성에도 상당한 원인이 있다. 즉, 생산된 물의 상당한 양이 이송과정에서 손실되는 현상이 나타나고 있으며, 물의 생산과 공급에 과도한 에너지가 사용되는 경우도 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 한계점들을 극복하고자 수자원 관리기술과 IT 기술을 결합한 스마트 워터그리드가 미국, 호주, 싱가포르 등의 국가를 중심으로 추진되고 있다.

스마트 워터그리드에는 물의 생산과 처리 효율 향상과 비용 및 에너지 절감, 시설의 체계적이고 예방적인 관리, 수자원의 관리 및 지역간 불균형 해소, 물 안보 확보 등 다양한 내용이 포함되어 각 가정에서의 양방향 물 사용량 관리부터 국가 수자원 관리까지 다양한 대상과 범위의 기술이 포함된다.

스마트 워터그리드에서의 IT 기술은 수자원의 확보와 수송, 활용 등에 대한 모니터링과 분석, 물 관련 정보의 관리 및 이를 효율적으로 활용하기 위한 지식 기반 시스템, 복잡한 시스템의 효율적인 운영 기술 등이 있다. 한편, 수자원 관리기술은 다양한 수원의 활용과 대체수자원 개발기술, 다양한 수량과 수질의 물 수요에 대한 대응기술, 수자원의 지속가능성 확보 기술 등이 있다. 인프라 기술로는 지표수, 지하수 등의 기존 수자원 관리 인프라의 최적화 기술, Mega City 상하수도 인프라 고도화 기술, 물과 에너지의 연관성을 고려한 물 관리 인프라 구축 및 운영기술 등이 있다. 이 외에도 다양한 형태의 융합기술이 스마트 워터 그리드의 핵심기술로서 현재 연구 개발되고 있다.

스마트 워터그리드의 시장현황 및 전망에 대해서는 아직까지 많은 자료가 축적되어 있지는 않으나, Lux Research에서는 2009년의 스마트 워터그리드 시장을 약 5.3억불로 산정하였으며, 2020년에는 163억불의 시장이 될 것으로 전망하고 있다. Cisco에서는 스마트 워터그리드에 의해 발생하는 직접적인 시장과 간접적인 효과를 합쳐 약 1000억불 정도의 시장이 형성될 것으로 전망하고 있으며, Pike research에서는 관련 전체시장의 규모가 약 2000억불이 될 것으로 전망하고 있다.

2) 스마트 파워그리드

기존 전력 시스템은 고품질의 전력 공급과 안정성의 확보 등을 목적으로 하고 있다. 그러나 화석연료에 기반한 에너지원의 고갈과 온실가스 배출에 의한 지구온난화의 심화의 문제는 기존의 전력 시스템으로 해결하기 어려운 난제가 되었다. 따라서 전력생산 및 공급의 효율을 높이고 새로운 에너지원인 신재생에너지의 활용을 극대화하기 위한 새로운 대안으로 스마트 파워그리드가 부각되고 있다.

스마트 파워그리드는 전력 시스템과 IT 기술이 융합된 전력망의 진화된 형태이다. 여기서 전력망이란 발전, 송전, 배전, 소비에 이르기까지 전력을 실어 나르는 모든 설비 및 기기를 의미한다. 스마트 그리드는 전력망의 신뢰성, 효율성, 안전성을 꾀하는 한편, 전력 생산·소비 정보를 양방향·실시간으로 유통함으로써 에너지 효율을 최적화하며, 전기자동차, 신재생 에너지, 분산형 발전 등의 시스템을 통합할 수 있는 차세대 전력 네트워크이다. 또한 스마트 파워그리드는 수요반응에 의한 전력 생산의 최적화, 실시간 가격제에 의한 수요 제어, 신재생 에너지와 분산전원의 통합 등을 가능하게 한다.

세계인구의 증가와 이에 따른 전력수요의 증가로 인하여 스마트 파워그리드 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상되고 있다. SBI의 보고서에 의하면 2009년의 전체 시장규모는 693억 달러이며, 2014년에는

1,714억 달러로 증가할 것으로 전망하고 있다. 한편 국내에서는 지식경제부에서 2030년까지 약 68조원 규모의 스마트 파워그리드 관련 내수시장을 창출할 계획을 수립하여 추진하고 있다.

한 계측방법은 두 가지 그리드에 있어서 많은 유사점을 보인다. 즉, 스마트 파워그리드에서 그 동안 구축되어 있는 감시제어 기술이 스마트 워터그리드에 비교적 용이하게 활용될 수 있다고 볼 수 있다.

3. 공통점 및 차이점 비교 분석

스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드는 기반시설 기술과 IT 기술을 결합하여 효율향상과 지속가능성 확보를 달성하고자 한다는 측면에서 많은 유사점을 가지고 있다. 그러나 물과 전기라는 매체가 가지고 있는 차이점으로 인하여 두 종류의 그리드는 서로 많은 차이점을 가지고 있다.

표 1은 스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드의 주요항목에 대하여 전반적으로 비교하여 나타낸 표이다.

1) 양방향 정보 수집 (Two way data collection)

스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드는 정보의 수집에 의한 데이터의 확보 및 이를 활용한 지식기반 시스템의 운영을 기본으로 하고 있다. 여기서 기존의 시스템과의 차이점으로 볼 수 있는 것이 실시간 양방향 정보수집 방식이다. 전기의 경우 통신과 제어기능을 가지는 지능형 계량기(Smart meter)를 이용하며, 물의 경우 이와 유사한 지능형 수도계량기(Smart water meter)를 이용한다. 미국에서 현재 추진되고 있는 관련사업의 사례를 보면 양방향 정보 수집을 위

2) 수요반응 (Demand Response)

수요반응은 스마트 파워그리드의 핵심개념이라고 볼 수 있다. 이는 전력의 경우 저장이 거의 불가능하기 때문에 전력수요에 따라서 발전소의 가동율이 크게 달라지게 되며, 수요에 따라서 생산단가가 크게 변동하기 때문이다. 따라서 수요에 효율적으로 대응하고 수요를 예측하며, 실시간 가격제와 지능형 가전제품 (Smart Appliance) 등으로 수요를 제어하는 것이 전체 전력시스템의 효율을 향상시키는데 큰 역할을 하게 된다.

반면에 물의 경우 하루 단위로 볼 때 수요의 변동이 상대적으로 작은 편이며, 저장이 가능하다는 특징을 가진다. 따라서 물의 생산은 전기와는 달리 수요에 따라서 실시간으로 급격하게 변동하여야 할 필요가 높지 않은 편이다. 한편, 물의 수요변동은 계절에 따라 변동이 큰 편이므로, 장기적인 관점에서 수요와 공급을 최적화하는 방법이 필요하다. 따라서 수요반응에 의한 실시간 대응 및 수요제어는 수자원 시스템에 있어서는 상대적으로 효과가 적을 것으로 판단된다.

3) 공급변동

전기의 경우 발전용량에 따라서 공급할 수 있는 전

표 1. 스마트 파워그리드와 스마트 워터그리드의 비교

항 목	스마트 파워그리드	스마트 워터그리드
부산된 자원	신재생에너지(태양광, 풍력 등)등의 다양한 에너지 자원	우수, 지하수, 하수처리수 등의 다양한 수자원
측정기기	Smart electrical meters	Smart water meters & sensors
양방향 실시간 유통	- 다양한 에너지의 생산/관리 vs. 활용목적에 맞는 에너지 공급 - Power quality vs. 실시간 가격제	- 다양한 에너지의 생산/관리 vs. 활용목적에 맞는 수량/수질 공급 - Water quality vs. 실시간 가격제
서비스 패러다임	- 다수의 에너지 공급자 사이에서 에너지 거래 가능 - 전력의 생산/소비 정보를 최적화 및 통합관리	- 다수의 원수 공급자 사이에서 다양한 수원의 거래 가능 - 용수공급의 생산/소비정보를 최적화 및 통합관리

력량이 제한될 수 있다. 특히 전력수요가 공급용량을 초과하는 경우 큰 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제는 전체 공급용량이 일정하나 수요가 급격하게 변동하기 때문으로 볼 수 있다.

한편, 물의 경우 계절에 따라 차이가 있으나 수요의 변동은 상대적으로 큰 편은 아니다. 농업용수나 조경용수를 제외한다면 생활용수나 공업용수의 경우 연간 거의 일정한 양이 사용된다. 반면에 수자원의 확보 측면에서 볼 때 공급량은 계절에 따라 크게 변화한다. 여름철에 강우가 집중되는 경우 잉여 수자원이 발생하며, 봄철 등에는 가뭄으로 인하여 수자원의 부족이 나타날 수 있다. 물론 가용수자원 관리를 통해서 이러한 문제를 어느정도 해결할 수 있으나, 기본적으로 수자원 시스템에서는 전체 수요량은 비교적 일정하나 공급용량이 계절에 따라 변동하는 것이라고 볼 수 있다.

4) 신재생 에너지 및 대체수자원의 활용

스마트 파워그리드의 중요한 장점 중에 한 가지가 신재생 에너지의 통합이 용이하다는 점이다. 그러나 태양광이나 풍력 등의 신재생 에너지 발전의 경우 날씨에 따라 가동상황이 수시로 바뀌므로, 신재생에너지의 활용비율이 높아질수록 전력 공급의 안정성에 악영향을 미친다는 의견도 있다. 또한 반도체 산업 등 고품질의 전력을 요구하는 경우에는 신재생 에너지를 이용한 전력공급이 적합하지 않다.

스마트 워터그리드에서도 유사하게 공급량과 품질의 문제가 발생한다. 해수담수화나 물 재이용에 의하여 대체수자원을 활용하는 경우에는 공급량을 비교적 일정하게 안정적으로 가져갈 수 있으나, 빗물 등을 이용하는 경우에는 날씨에 따라서 물 확보량이 큰 차이를 보인다. 특히 우리나라와 같이 연중 강우량의 편차가 심한 경우에는 안정적 활용을 위한 빗물의 확보가 어렵게 된다. 또한 수자원의 종류에 따라서 활용처가 제한되는 경우가 발생한다. 하폐수의 재이용에 의하여 확보된 물은 직접 먹는물로 사용하는 것이

매우 제한적이다. 빗물의 경우에도 개발도상국에서는 처리 후 먹는물로 활용하는 경우가 있으나 선진국의 도시지역에서는 잠재적인 오염가능성으로 인하여 먹는물로 거의 활용되지 않는다.

5) 송전 및 물 수송 인프라

스마트 파워그리드가 도입된 이유 중에 하나로 송전선로 용량의 한계로 인해 전기품질이 낮아지는 상황을 해결하기 위한 것이 있다. 스마트 파워그리드에서는 발전-송전-변전-배전-수용가의 전 과정에 있어서 고도화를 이루는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 장거리 송전에서도 손실을 최소화하기 위한 고압송전기술을 개발·도입하고 있다.

스마트 워터그리드는 다양한 활용처에 최적화된 다품종의 물을 공급하는 것이 중요한 목적 중에 한 가지이다. 그러나 이 경우 수자원의 종류에 따른 수질의 차이가 있어 수송에 필요한 인프라가 이중으로 필요하게 되는 문제가 발생한다. 즉, 먹는물을 공급하는 상수관망과 비음용의 물을 공급하는 관망이 분리되어야 하며, 이러한 분리공급체계가 활용처에도 구축되어야 한다. 이는 많은 초기투자비를 필요로 하기 때문에 경제성을 저하시키므로, 이를 효율적으로 해결하기 위한 새로운 수송인프라의 구축이 필요하다.

6) 분산화

스마트 파워그리드와 스마트 워터그리드는 공통적으로 생산설비의 분산화를 유도하는 특징을 가진다. 특히 생산자와 소비자의 역할을 동시에 하는 프로슈머(Prosumer)의 개념이 같이 적용될 수 있다. 그러나 송전 및 수송인프라의 기본적인 차이와 수요 및 공급특성의 차이로 인하여 이러한 분산시설의 구축 및 운영방식은 큰 차이를 보이게 될 것으로 예상할 수 있다.

최근 제안되고 있는 마이크로그리드(Microgrid)의 개념은 스마트 워터그리드에서의 분산화를 효율

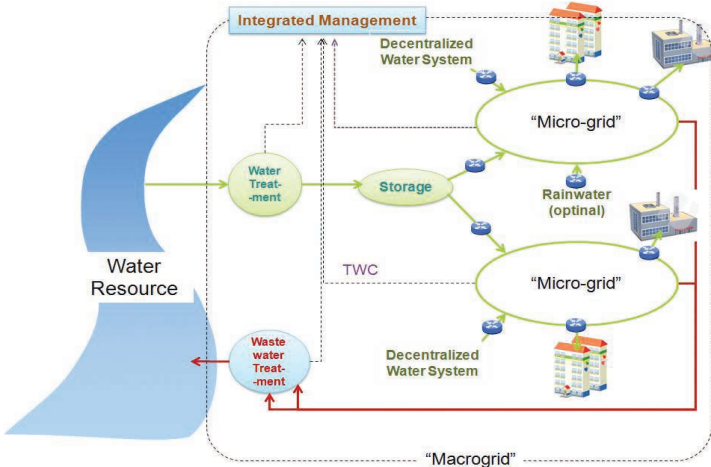


그림 1. 스마트 워터 마이크로그리드의 개념

적으로 달성할 수 있는 방법으로 주목받고 있다 (그림 1).

4. 물과 에너지의 연관성 (Water-Energy Nexus)

스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드는 서로 독립적인 것이 아니라 밀접한 연관성을 가지고 있다. 이는 물을 생산하는데 에너지를 필요로 하고 에너지를 생산하는데 물을 필요로 하기 때문이다 (그림 2).

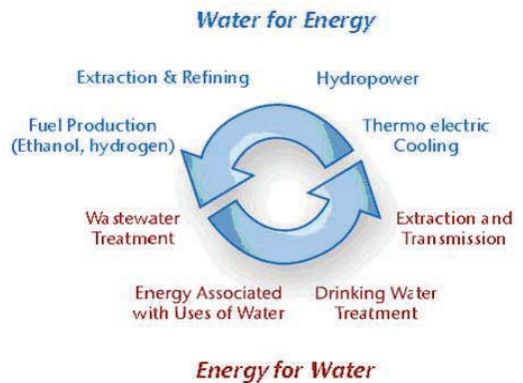
미국의 경우 약 4~13%의 전력이 물을 생산하고 수송하며 발생한 하폐수를 처리하는데 사용되는 것으로 보고되고 있다. 물 부족 지역인 캘리포니아의 경우 문제가 보다 심각하여 약 19%의 에너지가 수자원 시스템에 사용되고 있다. 도시용수 시스템의 경우 전체 비용의 약 80%가 에너지 비용이다. 물 1 m³를 생산하는데 필요한 에너지는 수자원의 종류 및 처리방법에 따라 다르지만, 처리방법을 고도화하고 기존의 수자원이 아닌 대체수자원을 사용할수록 에너지 사용량은 증가한다. 예를 들면 전통적 수처리에서 에너지 사용량은 0.2~0.6 kWh/m³이나 해수담수화의 경우 3~6 kWh/m³의 에너지를 필요로 한다.

한편, 미국에서는 발전용수로 1 kWh당 약 95L의

물이 사용되고 있으며, 이를 환산해보면 미국 내에서 발전을 위해 사용되는 물은 1년에 약 4,000억 m³이 된다. 실제로 미국에서의 수자원 취수량을 보면 전체의 41%가 화력발전소에 이용되고 37%가 농업용수로 활용되며 먹는물로 13%가 사용되고 있다. 또한 기존의 화석연료를 이용한 발전방식에서 신재생 에너지를 사용하는 발전방식으로 전환하는 경우 더 많은 물을 필요로 한다는 연구결과도 보고되고 있다.

따라서 물과 에너지의 연관성은 연속적으로 서로 악영향을 미칠 수 있다. 즉, 물 부족으로 인한 수처리 기술의 고도화는 에너지 소비량의 증가를 유도하게 되며 이로 인하여 증가한 에너지 수요를 맞추기 위해서 더 많은 물이 사용된다. 또한 에너지 사용량의 증가는 온실가스 배출에 의한 기후변화의 문제를 악화시켜, 강우의 편중성을 증가시키고 국지적 가뭄과 홍수의 발생빈도 증가 및 해수의 지하수 침투 등의 문제를 발생시키게 된다. 따라서 물 부족 문제는 더욱 심각하게 되어 수자원 확보에 들어가는 에너지의 양은 계속 증가하게 된다.

이러한 악순환을 벗어나기 위해서는 물과 에너지



Source: Paul Reiter / International Water Association

그림 2. Water-Energy Nexus

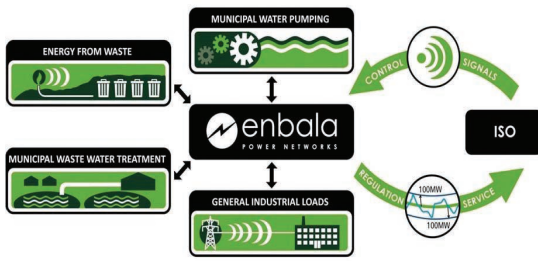


그림 3. Enbala's Power Network

의 문제를 동시에 접근하는 방법이 필요하며, 스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드의 결합은 이러한 문제의 해결책으로 제시될 수 있을 것이다. 이러한 결합의 예로서 미국의 Enbala에서는 스마트 파워그리드에서의 전력 수요제어 기술을 이용하여 상수도 시설의 전력관리를 최적화하는 기술을 개발하여 운영하고 있다 (그림 3). 국내에서도 스마트 파워그리드에서 만들어지는 전력 중 값싸게 생산되는 잉여 전력을 해수담수화에 활용함으로써 스마트 파워그리드의 수요-공급 변동문제를 완화하는 동시에 해수담수화 비용을 절감하는 연구가 제주도의 스마트 그리드 실증단지에서 추진되고 있다.

5. 결론

스마트 SOC의 핵심요소인 스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드는 기존 기반시설의 한계를 극복하고 기후변화에 대응하는 지속가능한 발전을 가능하게 하는 차세대 기술이다. 스마트 파워그리드의 경우 21세기 들어 많은 관심을 모으며 전 세계적으로 추진되고 있으며 스마트 워터그리드는 이보다 약간 늦게 출발했으나 빠르게 연구가 추진되고 있는 분야이다. 그러나 기존 연구에서는 각각에 대하여 주로 다루었으며, 두 종류의 그리드가 가지는 차이점을 이해하고 서로 보완하기 위한 연계방안에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 물과 에너지의 연관성을 고려할 때 스마트 워터그리드와 스마트 파워그리드는 개별적으로 추진될 수 있는 것이 아니므로 세부적인 연계방안 및 발전전략에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 이러한 노력은 안전하고 편리한 사회 기반시설의 구축과 메가시티로 대변되는 도시화의 추세에 능동적으로 대응할 수 있을 뿐 아니라, 빠르게 성장하고 있는 관련기술의 세계시장을 주도할 수 있는 신성장산업을 육성하는 효과를 가져올 것으로 기대된다. 🌊

참고문헌

1. 이상호 (2010), 스마트 워터그리드와 충북산업 연계방안, 충북테크로파크 이슈페이퍼
2. 이상호 (2011), 스마트 워터그리드, 글로벌 경쟁 '스마트 워터' 심포지엄, 2011년 6월
3. 김준하 (2010), 스마트 워터그리드, 2010 미래 지능형 물관리 심포지엄, 2010년 10월
4. 도윤미 외 (2009), 스마트 그리드 기술 동향 : 전력망과 정보통신의 융합기술, 전자통신동향분석 제24권 제5호 2009년 10월
5. D. Poulsen (2010), Uncovering Hidden Benefits of Water AMI, Smart Water Grid Conference, Chicago, U.S.A.
6. G. Ponsse (2010), Water Energy Nexus, Smart Water Grid Conference, Chicago, U.S.A.
7. A.K. Menon (2010), Smart Water Grid, H₂O Middle East.
8. USGS report (2000), Estimated Use of Water in the United States