

스마트도시에서 블록체인이 갖는 함의와 그 역할*

조재우**

Implications and Roles of Blockchain for Smart City*

Jaewoo Cho**

국문요약 4차산업혁명 기술의 등장 및 발전과 함께 현대 도시는 스마트도시로 빠르게 변화하고 있다. 여러 4차산업혁명 기술 중 블록체인은 기술적 혁신성뿐 아니라 사회적 혁명성도 포함한다는 독특한 특성이 있다. 이 때문에 블록체인은 스마트도시가 종합적으로 발전하는 데 있어서 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 그러나 현재 우리나라에서 스마트도시와 관련된 블록체인 연구나 정책은 주로 기술적인 측면에 머물고 있으며 그 이상의 잠재력은 간과하고 있다. 본 연구는 스마트도시와 블록체인에 대한 종합적인 검토를 통해 블록체인 기술이 사회, 경제, 제도, 거버넌스 등 다양한 영역에서 스마트도시의 발전에 어떻게 이바지할 수 있는지 밝히는 것을 목표로 한다. 또한, 현재 각 영역에서 시범적으로 추진되고 있는 프로젝트들을 살펴볼 것이다. 연구 결과 국내에서는 신원인증, 물류, 지역화폐 등 다양한 영역에서 스마트도시에 블록체인을 적용하는 시도가 활발하게 일어나고 있지만 아직 이들 블록체인 프로젝트들은 개별로 추진되고 있을 뿐 스마트도시라는 공통된 영역에서 종합적으로 발전하는 단계까지 도달하지 못한 것으로 판단된다. 앞으로 블록체인이 스마트도시에 더욱 효과적으로 기여하기 위해 기업, 정부, 시민이 함께 블록체인의 지속가능성과 타 기술과의 융합에 대해 심도 있게 논의할 필요가 있다.

주제어 스마트도시, 블록체인, 분권화, 포용적 성장, 시민 거버넌스

Abstract: Modern cities are changing to 'smart cities' dramatically with the introduction and development of the fourth industrial revolution technologies. Among these technologies blockchain is unique because it not only embraces technological innovation but also societal revolution. Therefore, blockchain is expected to play a pivotal role for contributing comprehensive development of smart city. The current research and policy atmosphere in Korea, however, is that blockchain is just a new technology and its broader impacts are overlooked. This study argues that blockchain has significant effects on smart cities not only from technological perspectives but also from social, economic, institutional, governmental perspectives. Further, this study suggests three categories that blockchain can help the development of smart city: technology, socio-economic, and governance, with examples of existing blockchain projects. However, these projects have been building separately without any interaction under the common hood of 'smart city'. To enhance influences of blockchain on smart cities in positive ways, private companies, policy maker, and citizen are supposed to consider and

* 본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.

** 한성대학교 사회과학부 조교수(주저자: jaewoocho@hansung.ac.kr)

discuss about publi sector's blockchain that is commonly used in at the smart city level.

Key Words: smart city, blockchain, decentralization, inclusive growth, civil governance

1. 서론

도시는 기술 발달과 함께 발전해왔다. 기차, 자동차와 같은 교통기술 발전은 도시의 외연적 확장을 가속화했으며, 건축기술의 발전은 도시의 수직적 확장을 촉진했다. 전기, 상하수도 등의 기반시설 기술의 발전은 도시의 수용 능력을 높여주었으며 전화, 인터넷 등 통신기술의 발전은 도시 내 상호작용의 양과 속도를 비약적으로 증가시켰다. 2007년 최초의 대중적 스마트폰인 아이폰이 등장하면서 스마트 기술 시대가 본격적으로 시작되었고 도시는 또다시 새로운 변화의 장을 맞이했다.

그러나 스마트도시는 이전의 변화보다 훨씬 더 기술 중심적이라는 점에서 차이가 있다. 스마트도시의 중심에는 인공지능, 빅데이터, IoT, 클라우드 및 엣지 컴퓨팅, 자율주행, 드론, 분산발전, 스마트그리드 등 수많은 신기술, 소위 4차산업혁명 기술이라는 것들이 자리 잡고 있으며 그 각각에 대해 도시계획가가 심도 있게 이해하는 것은 매우 어렵다. 하지만 이러한 기술에 대한 종합적인 이해와 함께 그 함의와 스마트도시와의 연결고리에 대한 지식이 뒷받침되어야 도시계획가는 스마트도시를 보다 정교하게 그리고 바람직하게 설계할 수 있다.

여러 가지 신기술 중에서도 블록체인은 그 중요성에 비해 우리나라에서 상대적으로 관심을 덜 받아왔다. 그 이유는 아마도 비트코인과 같이 블록체인 기반 암호자산들이 고위험-고수익 투자 대상으로 관심을 받으며 2017년 암호화폐 광풍과 같은 부작용을 일으켰고, 이것이 대중과 정책결정자들에게 부정적인 첫인상을 심어주었기 때문일 것이다(이기광 외, 2019). 또한 정부 입장에서 자유롭게 국경을 넘나드는 자산이라는 존재는 화폐정책에 대한 통제력을 약화할 수 있으므로 신중하게 접근할 수밖에 없다.

그러나 블록체인은 다른 신기술과는 차별되는 특성이 있으며 특히 사회경제적 측면에서 스마트도시에 다양한 기여를 할 수 있다. 따라서 스마트도시라는 맥락에서 블록체인을 이해하는 것은 스마트도시를 종합적으로 발전시키기 위한 토대가 될 수 있으며, 스마트도시의 영역을 기술 중심에서 기술-사회의 공진화 중심으로 확장할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 스마트도시와 블록체인에 대한 종합적인 이해를 통하여 블록체인이 스마트도시 발전에 기여할 수 있는 영역을 고찰하는 것을 목표로 한다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스마트도시의 개념 및 범위와 스마트도시와 블록체인의 관계에 대한 선행연구를 고찰할 것이다. 3장에서는 블록체인의 특징과 함의를 기술적·사회적 측면에서 검토할 것이며, 이를 토대로 4장에서는 스마트도시의 발전을 위해 블록체인이 할 수 있는 역할을 종합적으로 논하고 마지막 장에서 연구의 결론 및 정책적 함의를 제시할 것이다.

2. 스마트도시와 블록체인에 관한 선행 연구

1) 스마트도시의 개념과 범위

스마트도시에 대한 선행연구는 다양한 분야에 걸쳐 방대한 분량이 있으나 본 연구에서는 문헌연구를 중심으로 스마트도시의 개념과 그 범위를 검토할 것이다. 스마트도시의 개념을 논하기에 앞서 짚고 넘어가야 할 부분은 '스마트'하다는 것에 대한 정의이다. '스마트'에 대한 정의가 달라지면 스마트도시의 개념과 목적 또한 달라질 것이며, 스마트도시에 관한 연구도 각기 다른 함의를 갖게 될 것이다. 이에 대해 Nam and Pardo (2011)는 '스마트'의 의미를 세 가지 관점에서 분류하

였다. 첫째는 마케팅 측면에서 바라보는 관점으로 사용자 친화적이고 더 빠르고 정확한 반응을 제공하는 것이다. 둘째는 기술 중심적인 관점으로 제품이나 서비스가 빠르게 동작하고, 광범위한 정보를 수집하고, 자기학습을 통해 더 능동적이고 지능적인 서비스를 제공하는 것이다. 최근 인공지능이나 빅데이터 관련 제품들이 이 범주에 포함된다. 마지막은 도시계획적 관점으로 스마트 성장과 같이 전략적이고 규범적인 의미를 갖는다. 이때 ‘스마트’는 지속가능한 성장을 하고 보다 나은 삶의 질을 제공하는 수단이다.

스마트에 대한 정의가 다양한 만큼 스마트도시가 포함하는 영역도 다양하다. Yigitcanlar et al.(2018)은 스마트도시 개념을 체계적으로 분석하여 스마트도시의 핵심 영역, 영역별로 추구하는 목표, 그리고 스마트도시를 움직이는 원동력으로 세분하였다. 스마트도시가 다루고 있는 영역은 크게 경제, 사회, 거버넌스, 환경으로 각 영역은 고유한 목표를 가지고 있다. 경제 영역은 스마트도시를 통해 보다 높은 생산성과 효율을 달성하는 것을 목표로 하며, 사회 영역은 삶의 질과 형평성을, 환경 영역은 지속가능한 개발과 환경적 영향 최소화, 거버넌스 영역은 더욱 나은 의사결정과정과 이에 기반한 바람직한 성장관리를 목표로 한다. 공동체, 정책, 기술은 각각의 목표를 달성하는 과정에서 원동력으로 작용하여 스마트도시가 가지고 있는 다양한 인적, 물적 자산과 상호작용하며 스마트도시의 발전을 촉진하는 역할을 한다.

Hollands(2008)는 스마트도시의 영역을 기술, 비즈니스, 창의성, 인간중심이라는 네 가지 범주로 나누었다. 기술 중심적 스마트도시의 네트워크를 활용해서 경제활동과 정치적 활동의 효율성을 높이고 이를 통해 사회, 문화, 나아가 도시를 발전시키는 것이다. 한편 비즈니스 중심의 스마트도시의 신자유주의적 맥락에서 이해될 수 있는데 스마트도시 발전의 핵심 주체가 기업, 특별히 IT기업들이 되어서 경제활동이 활발하고 살기 좋은 도시를 만드는 것이다. 세 번째 범주는 창의적 공간으로서의 스마트도시로서 인적 네트워크, 자율조직과 같은 소프트한 인프라가 강조된다. 이 관점에서 스마트도시의 Florida(2002)가 주장하는 바와 같이

창조적 계급이 성장의 원동력이 된다. 마지막은 인간 중심적 도시로서 사회적 자본 축적과 함께 스마트 기술을 기반으로 한 지역 공동체 형성, 교육 등이 스마트 도시의 핵심이 된다.

Neirotti et al.(2014)은 스마트도시의 목표를 “hard”한 영역과 “soft”한 영역으로 분류하였다. 전자는 주로 물리적이고 기술적인 요소로 구성되며 도시에 대한 정보수집과 통제력을 높여 삶의 질을 개선하는 역할을 한다. 자연자원, 에너지, 교통망, 건축물 등이 여기에 포함된다. 후자는 주로 사회경제적 요소로 구성되며 삶의 질, 거버넌스, 경제성장 등이 포함되는데, 시민들이 정보를 얻고 의사결정과정에서 쉽게 참여할 수 있도록 돕는 역할을 한다.

Albino et al.(2015)은 문헌연구를 통해 스마트도시가 가지고 있는 공통적인 특징을 제시하였다. 첫째는 도시 네트워크를 통해 거버넌스의 효율성과 사회문화적 발전을 도모한다는 점이며, 둘째는 기업주도의 도시개발과 창조적 활동 중심의 도시성장을 강조한다는 점이다. 사회적으로는 여러 계층의 시민들이 조화를 이루고 사회적 자본을 축적함으로써 도시개발을 추구하며, 미래를 위해서 전략적으로 자연환경을 중시하는 정책을 취한다는 점이다.

한편 Townsend(2013)는 스마트도시의 세 축을 기술, 시민, 시청으로 본다. 글로벌 테크기업으로 대표되는 기술 영역은 빅데이터와 하향식 스마트도시 개발을 추구하는 반면 시민해커와 깃(geek)으로 대변되는 시민들은 협업과 상향식 개발을 추구하며 기술과 시민 간의 긴장관계가 조성된다. 시청은 그 중간지대에서 기술과 시민이 조화롭게 연결되도록 촉진하는 역할을 한다.

Townsend와 유사하게 Echebarria et al.(2020)도 방대한 문헌연구를 토대로 스마트도시의 영역을 기술 중심, 인간중심, 협력중심 세 가지로 정리하였다. 기술 중심은 하향식으로 사회구조를 변화시키는 방식을 주로 택하며 효율적이고 강력한 반면 시민의 참여는 간과하는 경향이 있다. 인간중심적 스마트도시의 기술이 항상 시민의 필요에 부합하지는 않으며 스마트도시가 사회적 양극화를 부추길 수도 있으며 빅브라더와 같

이 개인정보 침해도 발생할 수 있다고 본다. 따라서 기술을 통한 공공가치 창출과 시민이 중심이 되어 스마트도시의 발전을 이끄는 상향식 개발을 선호한다. 마지막으로 협력적 관점은 시민과 시청의 소통과 다양한 주체 간 협력이 중요하다고 한다. 또한, 부처 간 공유되는 서비스와 이를 통해 이루어지는 스마트정부도 스마트도시의 핵심으로 제시된다.

문헌에서는 공통적으로 스마트도시에 대한 일관된 정의가 아직 존재하지 않는다는 점을 지적하고 있다. 또한, 스마트도시가 포괄하고 있는 영역이 기술에만 국한되지 않고 시민사회, 공공영역, 교육과 문화 등을 포함한다는 것도 일관되게 강조하였다. 동시에 선행연구에서는 스마트도시에 대한 비판도 꾸준히 제기되고 있다. 기술적인 측면에서는 기술을 활용한 시민에 대한 감시체계 구축과 예상치 못한 버그나 해킹 공격이 발생할 수 있다(Kitchin, 2014). 무엇보다도 스마트 기술은 가치 중립적인 것이 아니며 기술 중심적인 것만으로는 시민, 환경, 정부, 기업을 포괄하는 진정한 스마트도시를 이룰 수 없다(Hollands, 2008; Townsend, 2013). 그러므로 스마트도시가 진정한 잠재력을 발휘하기 위해서는 스마트도시의 “hard”한 부분과 “soft”한 부분이 통합적으로 개발되어야 한다는 점이 강조되어야 하나 현실에서는 한 영역이 발전한 스마트도시에는 다른 영역은 덜 발전한 부정적 상관관계를 보인다(Neirotti et al., 2014; Albino et al., 2015).

이러한 현실에 대해 이영성(2017)은 스마트도시가 단순히 정확성과 속도만을 목표로 하는 물리적 기능의 개선에만 머물러서는 안 되며 섬세한 감수성과 인간 중심적인 배려를 더함으로써 핵심가치를 창출해야 한다고 주장한다.

2) 블록체인과 스마트도시

블록체인은 그 시작부터¹⁾ 국가의 자의적인 화폐정책에 대한 비판이 담겨있었다는 점에서 기술적 함의와 사회경제적 함의를 모두 가지고 있다. 또한, 블록체인은 분권화와 상향식 거버넌스를 선호한다는 특징도 가지고 있다. 예를 들어 비트코인의 경우 블록체인 네트워크를 업그레이드하기 위해서는 90% 이상 참여자의 동의가 필요하다. 이처럼 기술, 사회, 경제, 거버넌스 등을 포괄한다는 점에서 블록체인은 스마트도시와 상당히 많은 부분에서 접점을 갖는다.

선행연구에서 블록체인 기술의 구체적인 적용이나 블록체인과 법·제도에 관한 연구는 풍부하게 존재하나 스마트도시라는 큰 맥락에서 블록체인의 역할을 종합적이고 체계적으로 고찰한 문헌은 상대적으로 빈약하다. 대부분의 블록체인 연구는 기술적 측면에 치우쳐 있으며 스마트도시 시스템 전반과의 관계보다는 스마트도시와 관련된 개별 솔루션, 예를 들자면 에너지 거래 시스템, 관계망 보안, 교통망, 전기차, 공유

〈표 1〉 스마트도시 섹터별 블록체인 기술의 적용 가능성

| 섹터 | 적용영역 |
|--------------|--|
| 거버넌스와 시민참여 | 기존 행정 프로세스 개선(정부문서, 투표, 세금), 시민참여 제고 |
| 교육/문화/과학 | 교육 및 학습내역 기록, 학문저널 및 지적재산권 관리, 미디어 및 문화 콘텐츠 |
| 웰빙/헬스케어 | 의료기록, 의약품 공급사슬, 의료보험 |
| 경제 | 스마트컨트랙트를 활용한 협력적 비즈니스, e-커머스, 지급결제, 명성 시스템, 공유경제 |
| 교통 | 차량 이력관리, 중고차 거래, 물류체인, 지능형 교통망 |
| 에너지 | 전력망 보안 및 투명성, P2P 에너지 거래, V2G |
| 건축환경 | 건축물 시공행정 자동화, 건물정보관리 |
| 수자원 및 폐기물 관리 | 에너지 및 물 사용 절약 |
| 자연환경 | 환경 모니터링 플랫폼, 자원 사용 감시 시스템 |

자료: Shen & Pena-mora(2018) 참조.

경제, 신원인증 등에 관한 연구가 주를 이룬다(Biswas & Muthukkumarasamy, 2016; Rivera et al., 2017; Sharma et al., 2017; Pieroni et al., 2018; Orecchini et al., 2018; Rahman et al., 2019; Guo et al., 2020; Lazaroiu et al., 2020).

소수의 블록체인과 스마트도시를 종합적으로 검토한 선행연구 중 Shen & Pena-mora(2018)는 섹터별로 블록체인이 어떻게 스마트도시에 적용되는지 정리하였다. 분류된 섹터와 그 세부 적용 내용은 표 1에 정리되어 있다.

Shen & Pena-mora(2018)는 블록체인을 자산, 기록자, 열람자 세 요소로 나누어 스마트도시에 적용된 사례를 분석했다. 블록체인에 올라간 자산의 종류는 디지털 자산, 물리적 자산, 무형의 물리적 자산 세 가지로 다시 분류되는데 디지털 자산으로는 디지털 콘텐츠, 의료기록, 탄소배출권, 문서 등이 있으며 물리적 자산은 식품, 상품, 천연자원 등이, 무형의 물리적 자산은 전기 등이 있다. 연구된 사례에서 기록자와 열람자는 대부분 제한된 특정 그룹이 가지고 있었는데 이는 선정된 사례 대부분이 프라이빗 블록체인을 사용하고 있었기 때문으로 분석되었다.

블록체인은 정보통신 인프라에 대한 보안이 더욱 중요해지고 있는 스마트도시에서 보안 문제들을 해결하는데 기여할 것이라고 보는 견해가 있다(Biswas & Muthukkumarasamy, 2016; Brandão et al., 2018; Karale & Ranaware, 2019; Bhushan et al., 2020, Ahad et al., 2020). 암호학에 기반한 블록체인은 높은 수준의 보안을 제공하여 보안 취약점 공격으로부터 네트워크를 보호하며, 블록체인이 가지고 있는 분권화된 다수의 노드는 해커가 공격을 집중할 수 없게 한다는 것이다.

또한, 스마트도시에서 블록체인은 공공서비스의 효율을 높이고, 투명성에 대한 시민들의 요구를 충족시킬 수 있으며, 점점 복잡해질 것으로 예상되는 도시 시스템에 대하여 블록체인의 분권화 시스템이 기존의 중앙화된 체계보다 더 효과적으로 대응할 것이라는 주장도 제기된다(Bhushan et al., 2020). 스마트도시에서 IoT 기기와 같은 장치의 수는 기하급수적으로 증가하

는데 이것을 중앙화된 솔루션으로 관리하는 것은 비용 측면에서나 유연성 측면에서나 어려울 수밖에 없다. 대신 블록체인을 통해 유연한 분권화 시스템을 만들면 이러한 문제를 해결할 수 있다는 것이다.

선행연구를 종합하면 스마트도시의 개념과 영역은 기술을 넘어 사회와 거버넌스까지 광범위하게 포괄하고 있지만 블록체인과 스마트도시의 유기적인 연관관계에 대한 연구는 이러한 다양성을 충분히 담아내지 못하고 있다 할 수 있다. 언급한 소수의 연구를 제외하면 스마트도시와 블록체인의 관계에 관한 연구 대부분은 기술적 맥락에 치우쳐 있으며, 통합적인 접근을 한 연구는 개념적인 논의에 머물러있고 실제 사례에서 가치가 창출되는 과정을 구체적으로 검토하지 못하고 있다는 한계가 존재한다.

그리고 블록체인이 도시라는 공간적, 사회적 맥락에서 갖는 함의와 구체적인 영향에 대한 논의도 부족하다. 그러나 블록체인 기술이 아직 초기 단계며 우리 사회에 광범위하게 적용되는 단계에 도달하지 못했기 때문에 이에 관한 연구는 아직 시기적으로 조금 이르다고 볼 수도 있다.

한편 국내에서는 스마트도시와 블록체인에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 부족한 상황이다. 무엇보다도 블록체인의 기술적 측면뿐 아니라 사회적 특성까지 함께 검토하면서 스마트도시와 블록체인을 연결짓는 시도가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 스마트도시와 블록체인에 대한 종합적인 이해를 바탕으로 스마트도시의 발전에 블록체인이 갖는 중요성을 검토하고, 국내외에서 실제로 적용되고 있는 구체적인 사례를 제시하며 스마트도시에서 블록체인이 기여할 수 있는 영역을 탐구하고자 한다.

3. 블록체인의 특징과 함의

1) 블록체인의 기술적 특징

(1) 분권화

분권화는 블록체인의 가장 중요한 특징으로 꼽힌

다. 분권화는 단순히 데이터의 소유나 접근권한을 개방하는 것이 아니라 블록체인 원장(ledger)의 모든 권한을 모든 사람에게 열어놓는 것을 의미한다. 현재 우리가 사용하고 있는 대부분의 서버-클라이언트 시스템과 데이터베이스 관리 시스템(database management system)에서 운영자가 모든 정보에 대한 통제권을 쥐고 있는 것과 비교하면 블록체인의 분권화는 완전히 새로운 패러다임을 만들어내고 있다고 할 수 있다.

블록체인의 분권화를 세분화하면 소유의 분권화, 접근권한의 분권화, 사회경제적 분권화로 나눌 수 있다. 소유의 분권화는 블록체인의 기록을 누구나 보유할 수 있다는 의미이다. 예를 들어 비트코인 프로그램을 받으면 비트코인이 시작된 2009년 기록부터 현재까지의 기록을 모두 내려받을 수 있는데 그 용량은 2020년 8월 기준으로 약 350GB, 총 기록 수는 1,850만 건 가량이다. 소유의 분권화는 블록체인의 탄력회복성과도 연결된다. 비트코인 기록을 모두 가지고 있는 노드(서버)는 전 세계에 1만 개 이상 존재하며 심지어는 우주의 인공위성에도 있다. 따라서 이들 노드를 일시에 모두 없애지 않는 이상 비트코인 기록은 남아있으며 하나의 노드만 남게 되더라도 새로운 노드로 기록이 계속 복제되어 다시 네트워크를 구축하게 된다. 마치 조선시대에 사고(史庫)를 지리적으로 분산시켜 놓은 것과 비슷하다고 할 수 있다.

블록체인의 또 다른 분권화는 자연스럽게 기록에 대한 접근권한 차원에서 이루어진다. 대부분의 공개(public)된 블록체인 내용은 누구나 열람할 수 있으며, 블록체인에 정보를 기록하는 것도 정해진 규칙만 따른다면 누구나 가능하도록 설계되어 있다. 따라서 모든 사람이 모든 기록을 실시간으로 확인할 수 있다는 블록체인의 이러한 특성은 자연스럽게 투명성으로 연결되며, 나아가서는 상호 신뢰가 없이도 객관적인 기록을 바로 확인하며 거래할 수 있는 '신뢰가 필요 없는'(trustless) 시스템으로 발전된다.

마지막으로 중요한 분권화는 거버넌스와 경제적 차원의 분권화이다. 많은 블록체인은 참여자들의 투표에 의해 규칙을 정하거나 변경한다. 예를 들어 비트코인

의 경우 이 과정은 개발진들이 코드변경을 통해 새로운 규칙을 제안하고, 채굴자들이 그 코드를 받아들이거나 거부함으로써 새로운 규칙으로 전환할지를 결정한다. 때로는 새로운 규칙으로 변경하는 것이 실패하기도 하고, 때로는 기존 규칙과 새로운 규칙을 가진 두 개의 블록체인으로 나뉘기도 하지만 이 일련의 과정은 소수의 독점적인 권력을 가진 사람들에 의해 이루어지는 것이 아니라 모든 네트워크 참여자에 의해 이루어진다는 점에서 거버넌스 차원에서의 분권화라 할 수 있다.

경제적 분권화는 블록체인 토큰을 생성하는 과정에서 이루어진다. 먼저 블록체인은 화폐 생산권력을 모든 블록체인 참여자에게 분산한다. 따라서 누구나 블록체인 토큰을 만들어낼 수 있는데 이는 대중들에게는 보통 '채굴'이라는 표현으로 알려져 있다. 여기에서 그치지 않고 블록체인은 화폐주조차익(seigniorage)을 모든 채굴자들에게 배분함으로써 경제적 분권화를 추구한다.

(2) 암호 알고리즘 기반

블록체인은 비대칭암호와 해시(hash)라는 암호기술에 기반한다. 비대칭암호는 한 쌍의 개인키와 공개키라는 요소로 구성되며 공개키는 정보를 암호화할 때 쓰이며 다른 사람에게 공개되는 키이고 개인키는 정보를 복호화할 때 쓰이면서도 소유자만 알고 있는 키이다. 이를 통해 블록체인에서 각 계정의 소유주는 자기 데이터에 대한 모든 통제권을 확보한다. 이는 현재 사용되고 있는 서버-클라이언트 시스템에서 사용자의 정보가 서버 운영자의 의도에 따라 사용될 수 있는 것과는 대조적이다.

해시 기술은 임의의 정보를 특정 길이의 암호화된 문구로 변환하는 것인데 이를 통해 원본의 진위를 빠르게 확인할 수 있다. 비유하자면 한 사람의 신원을 인증하기 위해 그 사람의 모든 생체정보를 확인하지 않고 대신 그 사람의 생체정보가 압축되어 있는 지문을 사용하는 것과 같다.

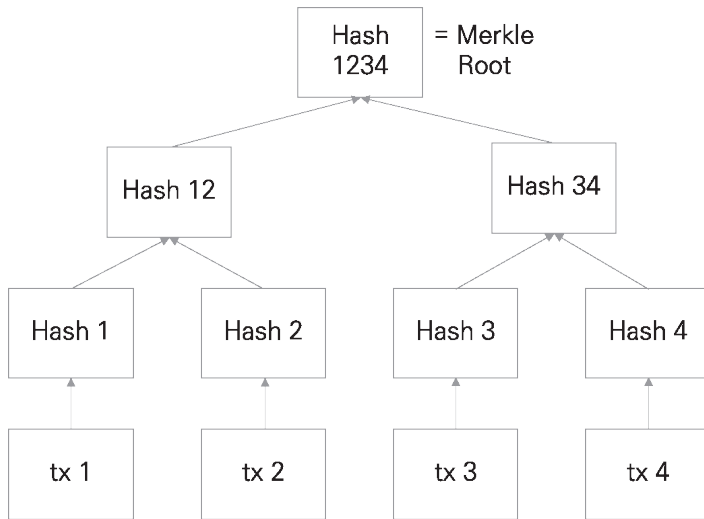
블록체인은 최초 시작부터 각 거래마다 해시를 만들고, 각 거래의 해시를 모아 각 블록의 해시를 만든다.

이를 머클트리(Merkle tree)라고 한다. 그리고 블록 해시를 만들 때 이전 블록의 해시를 포함하여 과거 정보와의 연결성도 확보한다. 따라서 과거의 정보 중 한 글자만이라도 수정되면 현재 블록의 해시가 완전히 달라지는 결과를 초래한다. 바꿔 말하자면 현재의 해시가 동일하다면 시작일부터 지금까지의 데이터가 변조되지 않은 원본이라는 뜻이다. 해시를 통해 블록체인은 데이터의 정합성을 확보하고 위·변조로부터 자유로운 시스템을 만든 것이다(그림 1, 2).

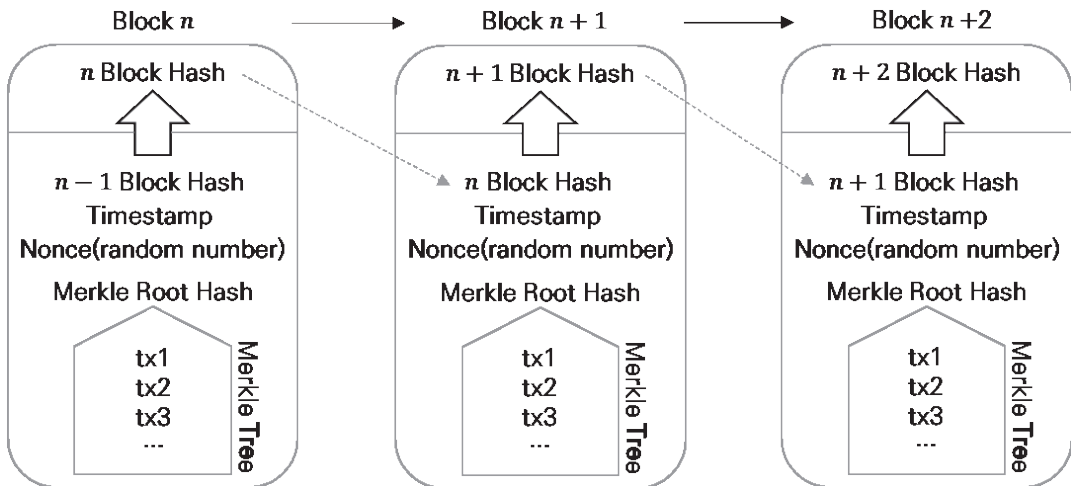
또한, 순차적으로 해시로 연결되었다는 점은 블록체인에 비가역성이라는 특성을 부여한다. 한 번 블록체인에 기록된 내용은 해시를 통해 이후 블록에 계속 전달되기 때문에 블록에 포함된 이후에 수정하는 것은 거의 불가능하다.

2) 블록체인의 사회적 함의

이러한 일련의 기술적 특징을 통해 블록체인은 사



〈그림 1〉 블록체인의 머클트리 구조 (Nakamoto, 2008)



〈그림 2〉 해시로 연결된 블록체인의 기본 구조 (Nakamoto, 2008)

회제도적인 변화를 촉발한다. 상징적으로 최초의 블록체인인 비트코인의 창시자 사토시 나카모토는 비트코인의 첫번째 블록에 “은행들의 두 번째 구제금융을 앞두고 있는 재무장관”(The Times 03/Jan/2009 Chancellor on brink of second bailout for banks)이라는 The Times 기사 제목을 기록하며 양적완화와 같은 사회적 이슈에 대한 블록체인의 역할을 암시하기도 했다. 이러한 맥락에서 블록체인을 기술적 혁신인 동시에 사회적 혁신으로 보는 시각도 존재한다(김의석, 2018; 조재우, 2019).

유사한 맥락에서 Warren et al.(2019) 또한 블록체인의 기술적 특성들을 세 범주로 분류하고 각각을 비즈니스 차원에서 창출할 수 있는 가치와 체계적으로 연결하였다. 블록체인의 보안, 표준화, 자동화 등의 기술특성은 기업의 수익성과 수준을 높이고, 투명성과 무신뢰 시스템은 다양한 이해당사자 간의 투명성을 제고하며, 신원관리나 디지털 토큰자산 등은 새로운 제품과 서비스를 창출할 수 있는 가치를 제공한다는 것이다.

그러나 Warren et al.은 기업 중심에서 블록체인이 갖는 함의를 분류했다는 점에서 본 연구의 논점과는 다소 차이가 있다. 본 연구는 Warren et al.보다는 좀 더 공공영역의 관점에서 블록체인 기술이 갖는 사회적 함의를 고찰할 것이다. 이 함의는 다음의 세 가지로 분류해볼 수 있다.

(1) 중간자와 신뢰문제 개선

블록체인의 사회적 함의 중 핵심으로 꼽히는 것은 중간자(man in the middle)와 신뢰문제 개선이다. 중간자 문제란 두 거래 주체가 서로를 믿지 못하는 상황에서 거래가 성립되도록 담보해주는 제삼자를 의미한다. 현재 우리 사회 시스템에서 중간자에 해당하는 것은 중고거래에서의 안전거래 서비스 제공자에서부터 계좌 간 송금을 보증해주는 은행에 이르기까지 매우 다양하고 광범위하게 존재한다. 그러나 블록체인에서는 각 거래 당사자가 자기 정보와 자산에 대한 모든 통제권을 지니고 있고, 거래 행위를 실시간으로 확인할 수 있으며, 한 번 기록된 거래는 되돌릴 수 없으므로

중간자 없이도 직접 거래를 성사시킬 수 있다.

중간자가 배제되면서 블록체인은 경제적, 사회적 이익을 얻을 수 있다. 경제적으로는 중간자에게 지급되던 수수료 등의 비용을 절감할 수 있으며, 사회적으로는 중간자가 자의적으로 거래나 정보를 차단하는 행위를 방지할 수 있다.

또한, 스마트 컨트랙트의 도입 이후 블록체인에서 이루어지는 거래는 단순한 송금에서 보다 복잡한 작업들로 발전했는데, 이를 통해 더 많은 종류의 중간자 문제를 해결할 수 있는 가능성도 열리게 되었다. 예를 들어 사람이 기억하기 쉬운 인터넷 주소를 컴퓨터가 이해하는 IP 주소로 바꿔주는 DNS(Domain Name Service) 기능이나 자산을 예치하고 대출하고 이자를 받는 금융 서비스, 소위 DeFi(Decentralized Finance, 분권화된 금융) 등이 스마트 컨트랙트를 통해 블록체인이 중간자와 신뢰문제를 개선하고 있는 분야이다.

(2) 정보주권

4차 산업혁명시대에 블록체인은 독특한 방향성을 가지고 있다. 빅데이터, 인공지능, 정밀의료 등의 4차 산업혁명 기술들이 대부분 데이터와 컴퓨팅 파워의 집중을 토대로 하고 있는 반면 블록체인은 정보와 권력의 분산을 가치로 내세운다. 따라서 블록체인은 같은 4차 산업혁명 기술로 분류되면서도 중앙집중을 추구하는 다른 기술들을 견제하는 역할을 할 수 있다.

특히 암호 알고리즘으로 확립되는 정보주권은 다가올 시대에 중요한 함의를 갖는다. 블록체인은 보안을 가장 중요하게 생각한다. 이때 보안은 절차의 일부로서 중요하게 여겨지는 것이 아니라 한 개인의 정체성과 재산권의 안전, 즉 독립성과 주권으로서 중요성을 갖는다(Gilder, 2018). 여타 기술들이 더 많은 개인의 정보를 요구하고 보다 쉽게 개인의 정보를 제공받으려고 하는 것과 달리 블록체인은 개인의 정보주권을 우선시하는 것이다. 이와 관련해서 탈중앙화 신원인증(Decentralized Identity, DID)이 두각을 드러내고 있으며 의료정보, 보험 등에서도 블록체인의 정보주권이 변화를 일으키고 있다.

(3) 디지털 트랜스포메이션

디지털은 전송과 저장에서 아날로그에 비교할 수 없는 편의성과 효율을 제공한다. 하지만 디지털의 장점이 단점은 복제성이라 할 수 있다. 디지털은 매우 적은 비용으로 간편하게 복제될 수 있기 때문에 디지털로 만들어진 것의 가치는 0으로 수렴하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 복제방지 기술이나 특정 기관의 인증과 같은 추가적인 해결 방법이 필요하다.

그러나 블록체인은 임의로 기록을 수정할 수 없으며 한번 기록된 것은 되돌릴 수 없으므로 디지털이면서도 복제할 수 없다는 특징을 갖는다. 그러므로 블록체인에 기록된 자산, 블록체인 산업계의 표현에 따르면 '토큰화'된 자산은 디지털이면서도 실물에 준하는 취급을 받을 수 있다. 또한, 복제 때문에 가치가 희석되지 않기 때문에 자산으로서 갖는 가치도 유지할 수 있다.

블록체인을 통해 실제 세계의 많은 부분이 디지털화될 수 있으며 이미 여러 가지 실험이 시도되기도 했다. 그중 가장 성공적인 범주는 역설적이게도 화폐이다. '스테이블 코인'이라는 종류의 블록체인 토큰은 대부분 기존 화폐를 예치하고 그에 1:1로 대응해서 발행하는 자산이다. 현재 100억 달러 이상의 스테이블 코인이 발행되어 전 세계 네트워크를 타고 거래되고 있다. 그 밖에도 에너지, 부동산, 물류 등 다양한 자산이 블록체인을 통해 디지털화되며 디지털 트랜스포메이션을 가속하고 있다.

4. 스마트도시를 위한 블록체인

스마트도시와 블록체인의 특성과 선행연구를 종합적으로 검토한 결과 둘 간의 접점은 크게 보면 기술 영역과 비기술 영역으로 구분될 수 있다(Neirrotti et al., 2014). 여기에 추가로 Townsend(2013), Yigitcanlar et al.(2018), Echebarria et al.(2020) 등의 관점을 포괄하여 비기술 영역을 사회경제적 측면과 거버넌스적 측면으로 나누어서, 본 연구는 블록체인이 스마트도시에 기여할 수 있는 영역을 기술, 사회경제, 거버넌스로 분류하였다.

1) 기술적 측면

(1) 보안성 강화와 분산 데이터베이스

블록체인은 기술적 측면에서 스마트도시의 정보통신 네트워크를 강화할 수 있다. 스마트도시에서 IoT 기기가 증가하고 기술이 광범위하게 사용될수록 해킹이나 버그에 대한 취약성과 그에 따른 피해도 기하급수적으로 증가할 것이다. 따라서 태생부터 암호화에 기반을 두고 보안을 강조하는 블록체인이 그 보완 수단으로 주목받는 것은 자연스러운 일이다.

블록체인은 다수의 노드에 데이터를 분산 보관하기 때문에 단일 서버에 모든 데이터를 저장했을 때보다 오류나 자연재해와 같은 상황에 보다 안정적으로 대응할 수 있다. 또한, 블록체인의 위조 방지 능력은 스마트도시의 정보통신 인프라의 보안성을 증진한다(Olness & Jansen, 2017; 2018). 그러나 속도가 느리고 처리량이 기존 서버보다 낮고 데이터가 중복 보관되는 낭비가 있으므로 블록체인이 현행 데이터베이스를 완전히 대체하는 것은 무리라는 것이 중론이다. 대신 블록체인은 데이터가 전송되거나 보관될 때 이를 암호화하는 수단으로 사용될 수 있으며 무엇보다도 전체 네트워크의 상태(state)를 정기적으로 백업하는 역할을 하며 기존 시스템과 조화를 이루며 사용될 수 있을 것이다.

(2) 분권화된 거래 플랫폼

스마트계약이 개발된 이후 블록체인은 토큰발행과 함께 토큰 간 P2P 거래도 지원하고 있다. 소위 분권화된 거래소 또는 DEX(Decentralized Exchange)라는 개념은 거래중개 서버가 없이 블록체인을 통해 매매자들이 직접 거래하도록 한다. DEX는 중개수수료 절감 효과도 있지만 보다 투명한 거래가 가능하고 해킹으로부터 상대적으로 자유롭다는 기술적인 장점이 있다.

스마트도시 차원에서 블록체인은 전력거래에 가장 활발하게 적용되고 있다. 태양광, 풍력 등 신재생에너지 발전과 스마트그리드가 확산되면서 지역 내에서 개인끼리 직접 전력을 거래하고자 하는 수요가 증가하고 있으며 이 부분에서 블록체인 DEX가 송전손실 등의 전력거래 비용을 줄이고 투명성을 높이는 대안으로 주

목받고 있다. 이와 관련해서 한국전력에서는 블록체인을 활용하여 이웃 간 전력거래 및 전기차 충전 서비스를 시범적으로 추진하고 있다.

2) 사회경제적 측면

(1) 시민주권

스마트도시는 더 나은 서비스를 제공하겠다는 명목으로 끊임없이 시민들에게 데이터를 요구하거나 시민들의 데이터를 수집한다. 그러나 역설적으로 스마트도시가 많은 시민의 데이터를 활용해서 똑똑해지고 편리해질수록 시민들의 사생활과 데이터 주권은 더욱 침해받게 된다.

이에 대해 블록체인은 시민주권을 증진하는 도구로 사용될 수 있다. 분권화된 신원인증(DID)은 블록체인을 활용하여 각 시민에게 정보주권을 부여한다. 현재는 우리에게 대한 정보를 정부나 기업과 같은 특정 기관이 일괄적으로 관리하고 있지만, DID를 도입하면 각 사람이 자신의 정보를 직접 관리하고 필요한 경우에만 다른 사람이나 기관에게 공개할 수 있게 된다. 이는 결과적으로 시민에 대한 정부 및 기업의 통제나 간섭을 줄이고 각 시민이 더욱 자유롭게 활동할 수 있는 공간을 확장함으로써 시민주권을 향상할 것이다.

해외에서는 World Identity Network(WIN)가 리비아에서, Consensus가 몰도바에서 DID를 활용하고 있다. 리비아에서 WIN은 난민들에게 DID를 제공함으로써 난민들이 국경을 넘을 때 쉽게 신원을 인증하고 인신매매나 노예노동의 피해자가 되는 것을 방지하는 역할을 하고 있으며, 몰도바에서는 DID가 노동착취나 인신매매로부터 아동들을 보호하고 있다(조재우, 2019). 국내에서는 DID 얼라이언스, 오픈블록체인·DID협회, 마이아이디 얼라이언스, 루니버스 등이 DID 관련 개발과 사업을 진행하고 있으며, 정부 차원에서는 공무원증과 운전면허증에, 지자체 차원에서는 경상남도가 최초로 도민카드에 DID를 적용하기 시작했다. 그러나 국내 사업은 시민주권 강화보다는 행정비용 절감이나 서비스 편의성 증진 등 정부 차원의 효용에 주로 집중한다는 점에서 한계를 가지고 있다.

(2) 포용적 성장

선행연구에서 지적된 것처럼 스마트도시는 경제적 양극화를 야기할 가능성을 내포하고 있다. 이때 블록체인은 양극화를 줄이고 포용적 성장을 촉진하는 역할을 함으로써 스마트도시의 발전에 기여할 수 있다.

지역화폐는 블록체인이 포용적 성장에 기여하는 대표적인 분야이다. 지역화폐는 지역사회의 공동체성을 증진하고 지역화폐 사용을 통해 지역경제 시스템 내의 자본유출을 줄여 지역순환경제를 구축하는 것을 목표로 한다. 그러나 높은 보안성을 가진 지역화폐 발행 및 결제 플랫폼을 구축하는 것은 높은 비용이 소요되므로 소규모 지역공동체가 디지털 지역화폐를 도입하는 것은 쉬운 일이 아니다. 하지만 블록체인을 활용하면 최소한의 비용으로 지역 공동체를 활성화하고 지역 내 포용적 성장을 제고하는 지역화폐를 만들어낼 수 있다.

현재 우리나라는 대부분 지방자치단체 주도로 블록체인 기반 지역화폐 발행이 이루어지고 있다. 노원구에서는 2016년에 NOWON을 발행하였으며, 현재는 부산, 김포, 울산, 공주 등 지역에까지 블록체인 지역화폐가 확대되었다.

(3) 창조적 계급 지원

창조적 계급은 지역경제 성장의 새로운 동력으로 주목받고 있다(Florida, 2002). 그러나 이들이 참여하고 있는 음악, 미술, 문학 등의 산업은 독점적 플랫폼 기업의 불투명한 수익분배로 많은 논란을 겪어왔으며, 필연적으로 수익분배의 왜곡으로 귀결된다. 또한, 이러한 구조적 문제는 창조적 계급의 성장을 저해하는 요인으로 작용하여 지역경제 성장에도 부정적인 영향을 줄 수 있다.

블록체인은 투명성 증가를 통해 창조적 계급의 성장에 이바지할 수 있다. 블록체인을 통해 예술가와 같은 창조적 계급은 자신의 작품이 어디서 거래되고 얼마만큼 사용되는지 등의 정보를 보다 정확하게 파악하고 정당한 수익을 요구할 수 있다. 이는 중앙화된 플랫폼 기업에 집중되던 수익을 예술가들에게 더욱 고르게 분배할 것이다. 나아가 창조적 계급의 사람들은 자신

의 저작물이나 자기 자신을 블록체인 토큰을 통해 유통화하고 이를 판매함으로써 초기에 필요한 자본을 더욱 쉽게 조달할 수 있다. 국내에서는 뮤지카우나 사운드블록체인프로토콜 등의 프로젝트가 음원 저작권과 스트리밍 수익분배를 블록체인으로 구현하고 있으며, 한편 아트블록이나 스타트넷과 같은 프로젝트를 통해서 미술품 토큰화 및 신규작가 지원도 이루어지고 있다. 또한, 최근에는 NFT(non-fungible token)이라는 기술을 통해 디지털 아트나 음원 등을 거래하는 방식도 주목받고 있다.

3) 거버넌스 측면

(1) 투표 및 시민참여

높은 보안성과 위·변조를 방지하는 블록체인의 특성은 온라인 투표 시스템에 장점으로 활용될 수 있다. 투표명부 관리, 투표인 인증, 개표 및 집계 등에 블록체인 기술을 적용하면 스마트 컨트랙트 등의 기능을 통해 선거 및 의견수렴 업무를 보다 효율적으로 개선할 수 있다.

또한 블록체인 기반 투표는 기존의 투표 방식이 가지고 있는 공간적 한계도 극복할 수 있다. 유권자는 투표소에 가지 않고도 블록체인 인증을 통해 투표 시스템에 접근하여 투표권을 행사할 수 있다. 또한 블록체인 투표 시스템은 투표용지와 투표소라는 물리적 요소에 기반한 방식보다 비용이 저렴하기 때문에 국가나 지자체 차원의 투표 외에도 공공주택, 마을 등 소규모 조직에서도 활용될 수 있다. 실제로 2017년 경기도에서는 따복공동체 주민제안 공모사업을 블록체인 투표 시스템을 통해 선정한 사례가 있다. 그러나 블록체인의 투명성 때문에 익명성이 보장되기 어렵다는 점은 해결해야 할 과제이다.

(2) 공공기록 관리 및 교환

블록체인 기술의 특징 중 하나는 모든 기록에 항상 시간, 기술적 용어로는 타임스탬프(timestamp)가 함께 기록된다는 것이다. 이후 기록에 수정이 발생하면 이전 기록을 삭제하는 것이 아니라 새로운 타임스탬프

와 함께 수정내역만 추가되며, 이전 기록과 수정이력 은 모두 추적이 가능하다. 또한 블록체인은 다수결의 합의가 항상 수반되기 때문에 소수의 악의적인 참여자가 기록을 위조할 수도 없다. 이러한 특성이 공공기록물 영역에 적용되면 관리의 안정성과 투명성을 높일 수 있다.

또한 블록체인을 활용하여 데이터 공유를 활성화하면서도 동시에 보안을 높이는 것도 가능하다. 일례로 에스토니아에서는 X-Road라는 프로젝트를 통해 정부 부처간, 혹은 정부 부처와 민간간 데이터 공유를 블록체인을 통해 활성화하고자 한다(Kalja, 2002). 우리나라에서도 공공선도 시범사업으로 복지급여 중복수급 관리, 한국도로공사와 민간회사 간 데이터 공유를 통한 정산체계 등 블록체인을 활용한 시스템 도입을 시도하고 있다.

5. 결론

스마트도시는 물리적인 인프라와 기술뿐 아니라 사회, 경제, 거버넌스 등 다양한 영역을 포함한다. 그러나 우리나라의 스마트도시 정책은 u-시티의 연장선에서 주로 기술적인 측면에 집중하는 경향이 있으며 스마트도시에 적용되는 블록체인 또한 보안성 강화나 분산 데이터베이스 정도의 기술 요소가 강조되곤 한다.

여타 4차산업혁명 기술이 초집중, 초연결을 표방하는 것과 대조적으로 블록체인 기술은 분권화와 독립성을 강조한다는 차별점을 갖는다. 블록체인은 암호학적 기술을 통해 각 개인에게 독립적인 주권을 부여하며, 이를 토대로 개별 참여자가 중앙의 통제나 검열 혹은 악의적인 해킹의 염려 없이 자신의 자산과 데이터, 의사결정 등을 자유롭게 활용할 수 있도록 한다.

이러한 특징을 종합적으로 검토한 결과 블록체인은 기술적, 사회경제적, 거버넌스적 측면에서 스마트도시 발전에 효과적인 기여를 할 수 있다. 기술적으로는 높은 보안성과 안정성을 제공한다. 스마트도시 시대에는 디지털에 기반한 정보의 거래, 저장, 처리가 빠르게 증가하나 다른 한편으로는 버그로 인한 정보 유실, 해킹

이나 내부자의 자의에 의한 개인정보 유출, 재해로 인한 정보통신 인프라 마비 등 반대급부가 존재한다. 높은 수준의 암호화와 정보의 분산저장 및 처리를 지향하는 블록체인은 이러한 점에서 스마트도시의 정보통신 인프라 측면에서 중요한 역할을 수행할 것이다.

사회경제적으로 블록체인은 분권화를 기반으로 시민들의 주권을 보호하고 포용적 성장을 도울 수 있다. 스마트도시가 발전하면서 시민들은 결제내역, 검색기록, 위치정보 등 더 많은 개인정보를 디지털 플랫폼에 노출시키게 된다. 그리고 이 개인정보는 거대 플랫폼 사업자가 수익을 창출하는데 활용된다. 블록체인은 개인정보 데이터와 이를 활용해 만들어진 이익이 소수로 집중되지 않고 각 데이터 주권을 가진 개인에게 분산되게 함으로써 스마트도시 시대에 각 시민이 사회경제적으로 독립하고 함께 성장할 수 있는 기회를 제공한다.

거버넌스 측면에서도 블록체인은 스마트도시에 중요한 기여를 할 수 있다. 스마트도시에서는 시민, 공공, 기업의 협력적인 관계와 의사결정이 더욱 강조된다. 이를 위해서는 절차의 투명성과 시민의 자유로운 참여가 보장되어야 하는데, 블록체인은 공공기록과 행정을 투명하게 만들고, 전자투표와 같은 온라인 거버넌스를 가능케 함으로써 시민참여를 촉진하고 디지털 시대의 민주주의 성장에 기여할 수 있을 것이다.

그러나 스마트도시의 중요한 지향점 중 하나인 지속가능성과 환경에 대해 블록체인은 태생적인 약점을 지니고 있다. 채굴을 기반으로 하는 비트코인과 같은 블록체인들은 분권화 시스템의 보안성을 유지하기 위해 막대한 에너지를 사용한다는 비판을 받고 있으며, 채굴을 하지 않더라도 동일한 데이터를 분산된 다수의 서버에 중복 저장하는 구조로 인해 블록체인은 현재 사용되고 있는 서버-클라이언트 구조보다 많은 자원을 소비한다. 따라서 스마트도시에서의 블록체인은 그 장점뿐만 아니라 단점과 기회비용이 함께 고려되어야 할 것이다.

본 연구는 블록체인이 스마트도시에 기여할 수 있는 영역을 검토하였지만 한편으로는 블록체인을 스마트도시에 적용할 때 발생할 수 있는 단점이나 부작용을

충분히 검토하지 못했다는 한계를 갖는다. 또한 도시라는 공간에서 블록체인이 어떠한 영향을 갖는지, 블록체인으로 인해 도시공간이 어떤 변화를 겪을지에 대해서도 다루지 못하였다. 이에 대한 연구는 블록체인 기술발전이 성숙단계에 이르고 블록체인이 우리 사회에 본격적으로 사용되는 사례가 나타나기 시작하면 후속연구를 통해 다룰 수 있기를 기대한다.

또한 향후 연구에서는 블록체인 기술과 연계될 수 있는 다른 4차산업혁명 기술들을 파악하고, 블록체인과의 융합을 통해 스마트도시에 어떠한 가치를 창출할 수 있는지 연구할 수 있을 것이다. 특히 스마트도시에서 방대한 양의 데이터를 생성하고 유통할 IoT 기기와 블록체인과의 통합에 더욱 관심을 기울여야 할 것이다. 블록체인은 그 특성상 내부 데이터에 대해서는 정합성을 가지고 있지만 블록체인 네트워크 외부로부터 오는 데이터는 신뢰하기 힘들다는 특성이 있다. 이를 해결하기 위해 오라클(oracle)이라는 방식이 사용되고는 있으나 아직도 발전되어야 할 부분이 많다. 만약 IoT 기기와 블록체인을 효과적으로 결합하면서 신뢰문제를 해결할 수 있다면 스마트도시에서 블록체인이 갖는 파급력은 매우 커질 것이다.

인공지능과 동형암호(homomorphic)와 같은 기술과의 연계도 주목할 필요가 있다. 인공지능은 기본적으로 내부 프로세스를 알 수 없는 블랙박스 속성을 가지고 있는데, 그 신뢰성을 증진시키거나 최소한 조작을 방지하는 수단으로 블록체인이 사용될 수 있을 것이다. 동형암호는 암호화를 풀지 않은 상태에서 데이터를 처리하는 기술로서 블록체인과 기술적으로 공통점이 많을 뿐 아니라 사회적 측면에서도 데이터 주권이라는 모토를 공유하기 때문에 향후 상승효과를 만들 수 있는 여지가 많다.

앞으로 블록체인에 대한 연구개발이 계속될수록 블록체인 기술은 발전하고 스마트도시에 미치는 영향력도 점차 증대될 것이다. 그러나 블록체인이 비단 기술적 혁신일 뿐만 아니라 사회제도적 혁신을 태생부터 내포하고 있었다는 사실을 항상 주지하고 균형 잡힌 시각을 견지해야 할 것이다.

주

1) 비트코인 첫 블록에 구제금융에 대한 기사 제목이 기록되어 있다. 참조: <https://blockchair.com/bitcoin/block/0>

참고문헌

- 김의석. 2018. 블록체인 혁신성 연구. 「한국전자거래학회지」, 23(3), 173-187.
- 이기광·조수지·민경수·양철원. 2019. 비트코인 가격의 결정요인: 한국시장에 대한 실증분석. 「한국증권학회지」, 48(4), 393-415.
- 이영성. 2017. 스마트시티의 핵심 가치와 경쟁력 확보방안. 「지역연구」, 33(1), 59-68.
- 조재우. 2019. 블록체인 기술을 활용한 공공가치 창출사례와 발전 방향. 한국4차산업협력명정책센터 정책연구 보고서.
- 조재우. 2020. 7. 21. 블록체인, 정보통신 인프라로 발전시켜야 잠재력 발휘할 것. 매일경제. <https://www.mk.co.kr/premium/special-report/view/2020/07/28697>
- Ahad, M. A., Paiva, S., Tripathi, G., & Feroz, N. 2020. Enabling Technologies and Sustainable Smart Cities. *Sustainable Cities and Society*, 102301.
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. 2015. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, 22(1), 3-21.
- Bhushan, B., Khamparia, A., Sagayam, K. M., Sharma, S. K., Ahad, M. A., & Debnath, N. C. 2020. Blockchain for smart cities: A review of architectures, integration trends and future research directions. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102360.
- Biswas, K., & Muthukkumarasamy, V. 2016, December. Securing smart cities using blockchain technology. In 2016 IEEE 18th international conference on high performance computing and communications; IEEE 14th international conference on smart city; IEEE 2nd international conference on data science and systems (HPCC/SmartCity/DSS) (pp.1392-1393). IEEE.
- Brandão, A., São Mamede, H., & Gonçalves, R. 2018, March. Systematic review of the literature, research on blockchain technology as support to the trust model proposed applied to smart places. In *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp.1163-1174). Springer, Cham.
- Echebarria, C., Barrutia, J. M., & Aguado-Moralejo, I. 2020. The Smart City journey: a systematic review and future research agenda. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 1-43.
- Florida, R. 2002. *The rise of the creative class* (Vol. 9). New York: Basic books.
- Gilder, G. 2018. *Life after Google: The fall of big data and the rise of the blockchain economy*. Simon and Schuster.
- Guo, J., Ding, X., & Wu, W. 2020. A blockchain-enabled ecosystem for distributed electricity trading in smart city. *IEEE Internet of Things Journal*.
- Hollands, R. G. 2008. Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial?. *City*, 12(3), 303-320.
- Kalja, A. 2002. The X-road project. A Project to Modernize Estonia's National Databases. *Baltic IT&T review*, 24, 47-48.
- Karale, S. & Ranaware, V. 2019. Applications of Blockchain Technology in Smart City Development: A Research. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(11), 556-559.
- Kitchin, R. 2014. The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1-14.
- Lazaroiu, C., Roscia, M., & Saatmandi, S. 2020, June. Blockchain strategies and policies for sustainable electric mobility into Smart City. In 2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM) (pp.363-368). IEEE.

- Nakamoto, S. 2008. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Nam, T., & Pardo, T. A. 2011, June. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times (pp.282-291).
- Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., & Scorrano, F. 2014. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38, 25-36.
- Ølnes, S., & Jansen, A. 2017, September. Blockchain technology as support infrastructure in e-government. In International Conference on Electronic Government (pp.215-227). Springer, Cham.
- Ølnes, S., & Jansen, A. 2018, May. Blockchain technology as infrastructure in public sector: an analytical framework. In Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age (pp.1-10).
- Orecchini, F., Santiangeli, A., Zuccari, F., Pieroni, A., & Suppa, T. 2018, October. Blockchain technology in smart city: A new opportunity for smart environment and smart mobility. In International conference on intelligent computing & optimization (pp.346-354). Springer, Cham.
- Pieroni, A., Scarpato, N., Di Nunzio, L., Fallucchi, F., & Raso, M. 2018. Smarter city: smart energy grid based on blockchain technology. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, 8(1), 298-306.
- Rahman, M. A., Rashid, M. M., Hossain, M. S., Hassanain, E., Alhamid, M. F., & Guizani, M. 2019. Blockchain and IoT-based cognitive edge framework for sharing economy services in a smart city. *IEEE Access*, 7, 18611-18621.
- Rivera, R., Robledo, J. G., Larios, V. M., & Avalos, J. M. 2017, September. How digital identity on blockchain can contribute in a smart city environment. In 2017 International smart cities conference (ISC2) (pp.1-4). IEEE.
- Sharma, P. K., Moon, S. Y., & Park, J. H. 2017. Blockchain: A distributed Blockchain based vehicular network architecture in smart city. *Journal of information processing systems*, 13(1).
- Shen, C., & Pena-Mora, F. 2018. Blockchain for cities—a systematic literature review. *Ieee Access*, 6, 76787-76819.
- Townsend, A. M. 2013. Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia. WW Norton & Company.
- Warren, S., Deshmukh, S., Whitehouse, S., Treat, D., Worley, A., Herzig, J., ... & Nolting, G. 2019. Building Value with Blockchain Technology: How to Evaluate Blockchain's Benefits. World Economic Forum.
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Buys, L., Ioppolo, G., Sabatini-Marques, J., da Costa, E. M., & Yun, J. 2018. Understanding 'smart cities': Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. *Cities*, 81, 145-160.

게재신청 2020.10.23.

심사일자 2021.03.22.

게재확정 2021.05.27.

주저자: 조재우, 교신저자: 조재우