



4차 산업혁명과 4세대 상하수도

4th Industry Revolution and 4G Water

이두진
Doojin Lee

K-water 융합연구원 스마트워터연구소
K-water Research Institute

ABSTRACT

The 4th Industry Revolution was advocated by Klaus Schwab who is founder of World Economic Forum at the Davos Forum in 2016, and there are big differences on ICT based 4th Industry revolution in the aspects of speed, scope and impact compared with the 3rd Industry revolution. Creating new industries and values through technology such as internet of things, cloud, big data, and artificial intelligence are included in the meaning of The 4th industry revolution. In this article, the direction of change to water technology in response to the 4th Industry revolution is surveyed. 4G Water Infra should minimize environmental impact under the consideration of sustainable development and advanced technologies. To solve the existing water infra problems, it is common and fundamental that the intake water from nature can be regarded as borrowed from nature and it should be returned to natural state with improved water quality. Government, academic organizations and industries should prepare and collaborate together in order to help our country with outstanding capabilities in infrastructure construction and ICT to lead the 4G water technology development.

Key words: 4th Industry revolution, 4G water, Sustainable development, Water infra

주제어: 4차 산업혁명, 4세대 상하수도, 지속가능개발, 물인프라

1. 서 론

최근 우리사회에서 ‘4차 산업혁명(4th Industry Revolution)’이 뜨거운 화두로 떠오르고 있다. 여러 매체나 전문가들은 과학기술의 급속한 진보를 통하여 사회, 교육, 문화 전반에 걸쳐 이전 세대에서 경험하지 못했던 대변혁이 일어날 것이라고 예측하고 있다. 이러한 시대흐름에서 변화, 위기, 혁신, 생존 등과 같은 용어가 함께 거론되고 있으며 서둘러 준비하지 않으면 놓쳐버리는 기회로 강조되다 보니, 자칫 우리가 지금 4차 산업혁명을 겪고 있는 것인지, 앞으로 다가올 미래인지 조차 가늠하기 어려울 정도이다.

4차 산업혁명은 21세기 접어들어 정보통신기술

(Information and Communication Technology, ICT)을 기반으로 인터넷 확산과 정보처리 기술이 획기적으로 발전하면서 사물인터넷(Internet of Things, IoT), 클라우드(Cloud), 빅데이터(Big data), 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 등의 기술을 기반으로 초연결화, 초지능화, 초자동화(자율화) 등을 실현하여 새로운 산업과 가치를 창출하는 것을 의미한다(Kim, 2016).

4차 산업혁명은 2016년 다보스포럼에서 World Economic Forum 창립자인 Klaus Schwab에 의해 주창되었으며, ICT를 기반으로 하는 4차 산업혁명은 3차 산업혁명에 비해, 속도(velocity), 범위(Scope), 영향(Impact)에 큰 차이가 있으며, 모든 나라와 산업에 엄청난 영향과 충격을 줄 것으로 예측하였다(Schwab, 2016).

산업혁명의 단계를 구분하는 기준은 원인과 결과를 해석하는 관점에 따라 다양하게 제시되고 있는데, 대

Received 7 July 2017, revised 21 August 2017, accepted 25 August 2017

*Corresponding author: Doojin Lee (E-mail: djlee@kwater.or.kr)

pp. 373-381

pp. 383-388

pp. 389-395

pp. 397-407

pp. 409-414

pp. 415-419

pp. 421-430

pp. 431-440

pp. 441-445

pp. 447-457

pp. 459-469

Table 1. Comparison of industry revolution

	1 st revolution	2 nd revolution	3 rd revolution	4 th revolution
	From 18 th to 19 th centuries	Between 1870 and 1914	From 1980s ~	From 2000s ~
Driving Force	Steam Power	Electric Power	Electronics&IT	CPS(Cyber-Physical System) IoT, Big data, AI
Characteristics	Mechanization	Electricity	Digital	Intelligence
Results	Industrialization	Mass production	Automation	Autonomy
Phenomenon	Great industrialization of the UK textile industry	Mass production using conveyor belt	Internet based digital revolution	Human-Things-Space Hyper-connectivity, Hyper-intelligence

제로 산업혁명을 이끄는 원인과 결과에 따라 Table 1과 같이 구분 된다

제1차 산업혁명은 18세기 중반 증기기관의 등장으로 가내수공업 중심의 생산체계가 공장생산 체계로 변화된 시기로 ‘기계혁명’이라고 불리기도 한다. 제2차 산업혁명은 전기의 발명으로 ‘에너지혁명’이라고도 불리며 전력에 의한 대량생산체제로 변화되었으며, 빠르게 산업화가 진행된 시기이다. 20세기 후반부터 시작한 제3차 산업혁명은 컴퓨터와 정보통신기술을 바탕으로 ‘디지털혁명’이 진행 중에 있으며 사회전반에 걸쳐 자동화, 지능화 기술보급과 관련 산업이 발전하고 있다.

이러한 산업사회의 차수 구분은 혁명적인 변화와 영향이 전 세계의 산업 및 사회경제 전반에 영향을 미치고 나서야 비로소 새로운 단계에 접어들었음을 인지하게 되는데, 4차 산업은 혁신동인이 되는 기술이 최근에 도입, 확대되고 있으며(물론 핵심이론은 오래 전에 제시되었지만), 이러한 혁신의 현상과 결과가 아직 산업전반에 전파되지 않은 시점에서 다소 이른 단계인 경향이 없지 않아 있다.

미국의 경제학자인 Jeremy Rifkin은 2012년 「제3차 산업혁명(The Third Industrial Revolution)」이라는 저서를 통하여 3차 산업혁명을 정의하고, 현재는 정보기술과 재생에너지를 양대 축으로 하는 3차 산업혁명이 가속화되고 있는 시점이라고 주장하기도 하였다.

앞서 언급한 바와 같이, 산업혁명의 단계진화에 대해서 논란의 여지가 많은 것은 혁명의 결과에 대한 광범위한 평가가 이루어지고 난 후에야 단계를 구분할 수 있는 뚜렷한 변화를 발견할 수 있고, 또한 새로

운 기술이 수용되어 산업화되고 이것이 일상생활을 변화시키는데 상당한 시간이 소요된다는 것을 경험했기 때문이다.

그러나 4차 산업혁명의 시점을 논하는 것보다 중요한 것은 정보통신기술이 끊임없이 진화하고 있고, 향후 산업발전과 인류의 미래를 열어가는 중요한 기반이 된다는 점에는 의심의 여지가 없다는 것이다.

공상과학(Science Fiction, SF) 영화에서 등장했던 가상현실, 증강현실 기술이 실현되고 있고, 부분적이지만 인간의 두뇌를 제압하는 인공지능 컴퓨터가 등장하여 고용과 산업구조를 변화시킬 것이라고 위협(?)하는 시대에, 가장 기본적인 사회기반시설 가운데 하나이고, 새로운 산업혁명 시대에도 없어지지 않고 역할 다해야 할 상상수도 인프라는 어떻게 변화하고 발전할 것인지?, 어떤 새로운 가치를 창출할 수 있을지? 등에 대해 진지한 고민과 대안을 살펴보아야 할 시점이다.

2. 4세대 상하수도 기술

인류에게 필요한 물을 공급하고, 사용한 물을 적절하게 처리하여 방류하는 기술의 근원은 고대 로마시대로 거슬러 올라가게 된다.

상하수도 전문가이자 UC Berkeley 교수인 David Sedlak은 상하수도 산업의 발전을 4단계로 구분하여 다음과 같이 정의하였다(Sedlak, 2014).

- Water 1.0 - 물의 수집과 분배시스템
- Water 2.0 - 여과와 소독공정을 포함하는 정수처리공정



- Water 3.0 - 생물학적 하수처리공정
- Water 4.0 - 물 부족 문제를 해결하는 차세대 수처리공정

이러한 상하수도분야 기술진보는 새로운 인프라 건설과 관련 산업육성을 견인하였고 무엇보다 인류가 깨끗하고 쾌적한 환경을 누릴 수 있는 물 복지를 제공했다는 것에 의의가 있다.

21세기 접어들어 정보화, 디지털화가 강조되면서 土建에 뿌리를 둔 상하수도 기술은 은근히 Low Technology(수준낮은 기술)로 전혀 새롭지도 미래지향적이지도 않은 기술로 전락한 느낌이 없지 않다. 4차 산업혁명이 분명 대세의 흐름이고 이 흐름을 ICT가 주도하고 있는 것은 사실이지만 디지털 기술만으로 수도꼭지에서 깨끗한 물을 나오게 할 수 없고, 인공지능 컴퓨터가 하천의 수질오염을 예방하는 데는 한계가 있을 수밖에 없다.

산업혁명이 새로운 산업으로 옮겨가면서 새로운 가치(사업)를 창출하고, 또한 인류의 삶을 풍요롭고 편리하게 한다는 방향성에 동의한다면 상하수도 분야에서 4차 산업혁명을 단순히 ICT를 접목하여 초지능화 시스템을 구축하는 범주에 그치는 것이 적절한 것인지 의문이 든다.

근대적 상하수도 인프라가 도입된 지 100여년이 넘었음에도 불구하고 센서를 통하여 정보취득의 양을 늘리고, IoT를 통하여 양방향 통신으로 시설을 제어하며, 운영의 의사결정을 고도화하는 것으로 4차 산업혁명의 파도에 능동적으로 대응하는 상하수도 기술(또는 인프라) 이라고 할 수 있을까? 상하수도기술이 주도하는 4차 산업혁명은 어떤 모습이 되어야 할까? 라는 질문에 나름의 답을 찾고자 한다.

는 질문에 나름의 답을 찾고자 한다.

상하수도 기술의 새로운 진보방향을 잡기 위하여 앞서 언급한 Sedlak(2014)의 상하수도 산업의 진화 단계와 유사하게 혁신을 주도했던 기술을 중심으로 세대를 구분해 보았다.

역사적으로 인류가 물을 찾아 정착하여 취락을 형성했던 고대시대부터 우물, 저수지, 석조수로 등의 존재가 확인되었던 17세기까지 즉, 수처리 개념이 도입되기 이전의 용수공급 기술을 상하수도 1세대로 볼 수 있다. 이후 18세기 후반부터 본격적으로 공공 상하수도 처리시설이 도입되었고, 현재와 같은 생산 및 공급 인프라를 갖추기 시작하였다. 20세기 후반부터 현재에 이르기까지 2세대 상하수도 인프라의 틀을 유지하면서 기계설비의 자동화, ICT 기반의 센싱, 통신, 최적의사결정기법 등이 도입되면서 수처리 기술의 고도화가 진행되고, 공급인프라의 스마트화가 진행되는 현재를 3세대 상하수도로 볼 수 있다.

그러면 4차 산업혁명의 시대에 향후 상하수도 혁신 기술은 무엇일까?

4차 산업혁명을 이끌고 있는 요소기술을 기반으로 시설을 고도화하고 운영을 지능화하는 노력은 꾸준히 확대되었지만, 상하수도 기술과 산업이 새로운 세대로 넘어가기 위해서는 기존 인프라가 가지는 구조적 문제를 해결하고, 새로운 가치를 창출하기 위한 보다 근본적인 변화가 필요하다.

대규모 상류 취수와 하류 방류에 따른 도시 하천의 물순환 단절, 정수장에서 먼거리 공급관로 시스템, 건기시 하천의 대부분을 차지하는 하수처리수, 처리시설로부터 발생하는 부산물(환경부하) 등 대규모로 집

Table 2. Generation of water technology

세대	시기	주요기술
1세대 (1G)	~17 th century	- Well, Drinking water supply, drainage, Fountain(ancient Rome) - Pump transport pipe line(1527)
2세대 (2G)	18~20 th century	- Physical and Chemical water treatment(sand filtration/chlorine disinfection) - Biological sewage treatment(tricking filter(1891), activated sludge treatment(1918))
3세대 (3G)	Late 20 th century ~ current	- Automation of mechanics and facilities - Membrane water treatment, Rainwater harvest, Sewage reuse and reclamation, Desalination, Decentralization system - Real time monitoring system, Integrated O&M system, Smart water grid
4세대 (4G)	Current ~	- Wellness and Innovation Water Infra - Autonomous operation based on artificial intelligence tech. (augmented reality, IoT, Big data)

pp. 373-381

pp. 383-388

pp. 389-395

pp. 397-407

pp. 409-414

pp. 415-419

pp. 421-430

pp. 431-440

pp. 441-445

pp. 447-457

pp. 459-469

중화된 20세기 상하수도 인프라는 규모의 경제라는 가치의 그늘이 더욱 어두워지고 있는 것이 사실이다.

4세대 상하수도 인프라가 추구해야 할 궁극적인 목표는 물환경의 지속가능성을 유지하면서, 첨단기술을 이용하여 물이용의 효율성을 최대화 하는 것이다.

이를 위한 기본적인 개념은 분산화되고 생산과 처리가 일체화된 인프라를 구축하는 것이다. 즉, 물순환 회복을 위하여 소규모 분산형, 발생원단위 처리시스템을 지향하고 상수 원수수질보다 깨끗한 하수처리수, 취수구와 일체화한 먹는물 수질 이상의 하수처리수 방류구, 취·도수관로보다 짧은 송·배·급수관로, (하수)배수관로보다 긴 (처리수)방류관로 시스템 등으로 상수와 하수, 처리와 분배의 개념을 재정립하는 것이다. 이처럼 기존 인프라의 개념을 혁신적으로 변화시키는 시스템을 구축하기 위해서는 설계, 건설, 운영 전반에 새로운 기술개발과 적용이 필요할 것이다.

□ 운영관리분야

- ICABM(IoT, Cloud, Artificial Intelligence, Big data, Mobile) 기반 상하수도 운영 고도화 기술
 - 인공지능 기반 무인자율운전 시스템 개발
 - 증강현실 기반 운영관리 고도화 기술
 - 4D(공간+감각) 센서 기반 감시 및 진단 고도화 기술
 - Big data 생산-처리-분석-관리 통합플랫폼구축

□ 설계 및 건설분야

- 4세대형 상하수도 인프라 구축 기술
 - 물순환 회복형-분산형-발생원 처리시스템
 - 정수 원수수질보다 깨끗한 하수처리수 생산
 - 취수구보다 상류에 위치한 하수처리 방류수
 - 취, 도수관로보다 짧은 송배급수관로, 배수관로보다 긴 방류관로

□ 설계 및 운영관리분야

- Wellness Water Factory(Four Free)
 - Human Free(자율운전), Chemical Free(Wellness), Fuel Energy Free, By-Product Free
 - Zero Effect Water Infra 구축 및 운영(환경부하를 최소화한 상하수도 시설)

정보통신기술과 연계하여 상하수도시설의 운영 안

정성과 효율성을 높이기 위한 측정, 분석, 예측, 의사결정(최적화) 등의 요소기술이 통신 및 계측 장비, 데이터분석 알고리즘 및 플랫폼 등과 연계하여 3세대와 차별화되는 새로운 운영환경과 부가가치를 만들 수 있을 것으로 기대된다. 센서내장형 관로(Sensor invaded smart pipe), 에너지 및 자원 회수형 플랜트(Smart water factory), 가상물리시스템 기반 자율운전 처리공정 등의 기술이 지속적으로 발전할 것이다.

인프라 개선을 위해서는 자연으로부터 취수한 물을 사용하고 자연 그대로 혹은 그 이상의 수질로 되돌려 보낸다는 상식적인 생각이 기존의 문제를 해결하고, 새로운 기술진보를 가져올 수 있을 것으로 생각한다.

캘리포니아주 Orange County 하수처리장 및 재이용 시설에서는 Ground Water Refreshment 시스템을 통하여 하수처리수를 지하수 충전에 활용하고 있는데, 연방정부 음용수 수질기준(시판되는 생수 수준) 충족은 물론 역삼투 공정과 자외선/과산화수소를 이용한 고급산화공정(Advanced Oxidation Process, AOP)을 거친 순수(Pure water) 수준의 처리수를 이용하여 염해의 침입을 막고, 지하수를 확보하고 있다(Dadakis, 2015).

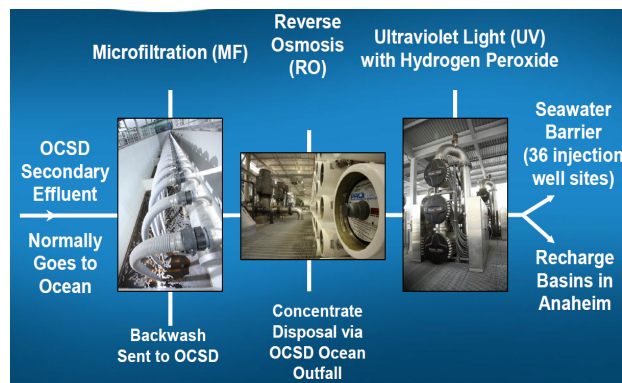
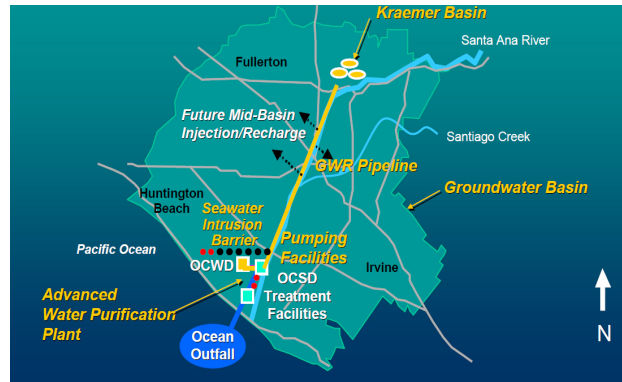
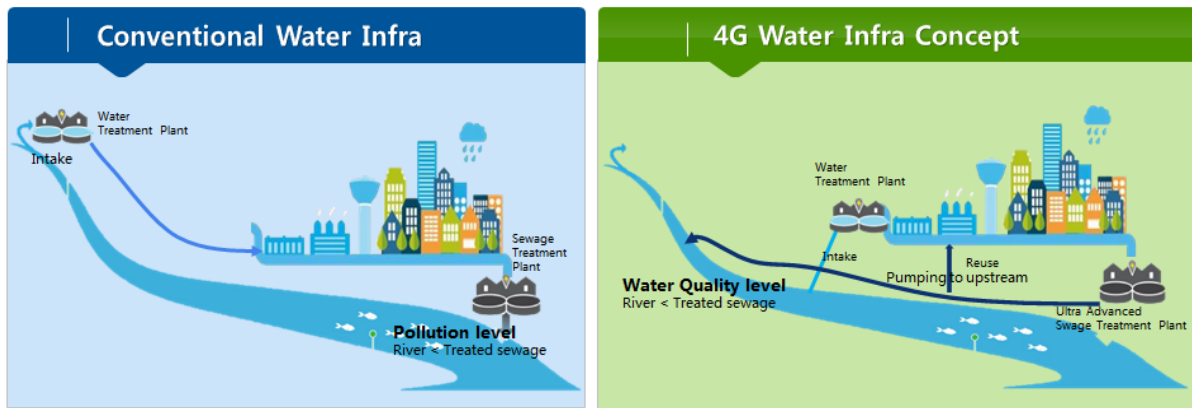
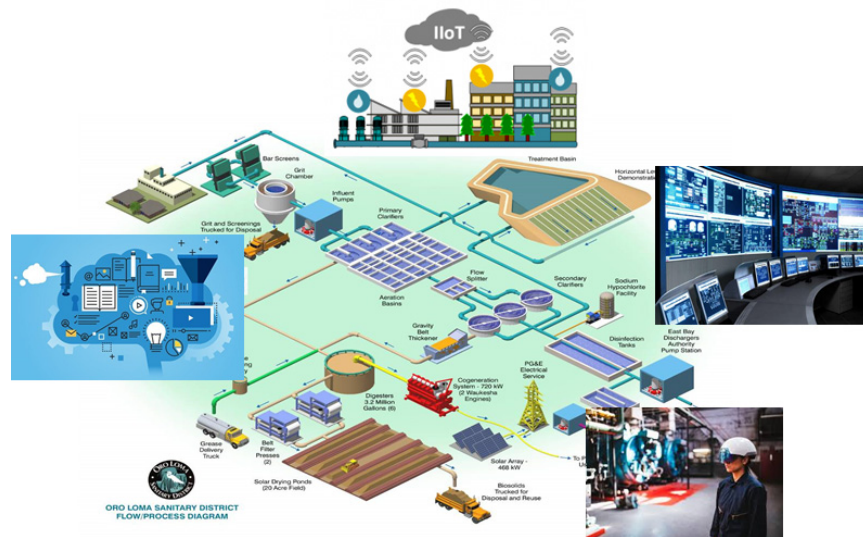


Fig. 1. Introduction of Ground Water Refreshment System.



a) Infra innovation for water cycle restoration



b) O&M advancement by ICABM tech.

Fig. 2. Concept of 4G water infra and tech.

널리 알려진 싱가포르 NEWater 프로젝트에서는 물 소비량의 40%를 하수처리수 재이용수로 충당하고 있으며, 2060년까지 장래수요량의 55%까지 늘릴 계획이다. 재이용수는 먹는물 보다 수질기준이 엄격한 반도체 공정수 등에 대부분 이용되고 있으며, 가뭄이 심한 경우 상류 저수지 원수와 혼합하여 상수원수로 이용되기도 한다.

미국 텍사스주 Big Spring에서는 2013년 미국 최초로 하수처리수를 직접수원으로 이용하는 프로젝트(Direct Potable Reuse)가 수행되어 하수처리수 2MGD을 지표수와 혼합하여 원수로 이용하는 시스템을 운영하고 있다(Bob Johnson, 2016). 또한 캘리포니아 Padre Dam Municipal Water District에서도 막여과, 역삼투, 고급산화공정을 거친 하수처리수를 상수원수로

이용하는 Padre Dam의 용수의 20~25%를 차지하고 있다(www.padredam.org/AWP).

자연의 수원보다 나은 수질의 하수처리수가 배출되고, 재이용수(Reuse water)라는 용어의 정의가 ‘원수보다 더 나은 수질을 가지는 물’로 바뀌는 날이 머지않아 보인다.

이러한 개념들은 기존 인프라에 비해 막대한 비용이 소요되고, 기술적으로도 극복해야 할 과제들이 남아있어 효율과 경제성을 강조하고 있는 3차 산업혁명 시대에 수용되기 쉽지 않을 것이다. 그러나 더 깨끗한 물을 공급하고, 더 건전한 물 환경을 유지하기 위해서 또한 4차 산업혁명을 선도할 수 있는 차세대 상수도의 도전적인 기술로서 충분히 고려해 볼만하다고 생각한다.

pp. 373-381

pp. 383-388

pp. 389-395

pp. 397-407

pp. 409-414

pp. 415-419

pp. 421-430

pp. 431-440

pp. 441-445

pp. 447-457

pp. 459-469

3. 맺음말

새로운 세대를 이끌어갈 혁신적인 기술과 산업은 기존 틀을 벗어나려는 고민과 시행착오의 산물인 동시에 이전에 경험하지 못했던 부가가치와 신사업의 기회를 제공해 줄 것이다. 가속화되는 ICT 발전이 산업 전반에 충격과 변화를 주도하고 있지만, 인프라와 서비스가 결합된 물 산업에서는 상하수도 기술자들이 주도하는 기술혁신을 통하여 새로운 사업과 서비스가 창출될 수 있기를 기대한다. 아울러 4차 산업혁명의 시대에 4세대 상하수도로의 기술진화 과정에서 인프라 건설과 정보통신 기술에 탁월한 우리나라가 이러한 기술 세대교체를 선도할 수 있도록 정부, 학계, 산업계 모두가 진지하게 고민하면서 준비해야 할 것이다.

20세기 인류 최고의 업적 가운데 하나로 평가받았던 상하수도 기술이 4차 산업혁명의 변화속에서 새로운 모습으로 발전하여 또 다른 가치로 재평가 받을 수 있기를 기대한다(National Academy of Engineering, 2003).

References

- Bob Johnson (2016). Role of Water Reuse in Conservation and Water Supply, Central Texas Water Conservation Symposium, pp. 26-41.
- David Sedlak (2014). Water 4.0 : The Past, Present, and Future of World's Most Vital Resource. "<https://www.padredam.org/AWP>"<https://www.padredam.org/AWP>, (October 20, 2017).
- Jason S. Dadakis (2015). Orange County's Groundwater Replenishment System, DPR in CA Specialty Seminar(<https://www.nwri-usa.org/pdfs/Dadakis.pdf>).
- Jeremy Rifkin (2012). The Third Industry Revolution, 2012.
- Kim, J. H. (2016). 4th Industrial revolution, Seeking of strategic response for future social change, KISTPEP InI, 15, pp. 45-58.
- Klaud Schwab(2016), The Fourth Industry Revolution. National Academy of Engineering, 2003, Great Engineering Achievement of the 20th Century(<https://www.greatachievement.org>).