

빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅 기반의 수자원 정보 관리 방안에 관한 검토

김연수·강나래·정재원*·김형수[†]

인하대학교 대학원 토목공학과

*서울연구원 안전·환경연구실

A Review on the Management of Water Resources Information based on Big Data and Cloud Computing

Yonsoo Kim·Narae Kang·Jaewon Jung*·Hung Soo Kim[†]

Department of Civil Engineering, Inha university, Korea

**Department of Safety and Environment Research, The Seoul Institute, Korea*

(Received: 22 December 2015, Revised: 30 January 2016, Accepted: 30 January 2016)

요약

최근 국내·외 수자원 정책의 방향은 전통적인 이·치수 부문과 함께 삶의 질을 향상을 위해 지속가능한 물 관리에 대한 필요가 강조되면서 수자원 정보의 수집, 관리 및 제공의 중요성이 증대되고 있다. 과거 수자원 정보는 제공하고자 하는 목적을 이미 정하고 거기에 맞도록 데이터를 효과적으로 분석하는 기술에 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 최근에는 정형 데이터뿐만 아니라 비정형 데이터를 연계함으로써 새로운 가치를 도출할 수 있는 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅에 대한 관심이 부각되면서 수자원 정보에도 변화를 가져오고 있다. 이에 본 논문에서는 수자원 정보 관리의 패러다임 변화에 능동적으로 대처하고, 수자원 정보의 효율적인 관리 및 이용을 위해 수자원 분야에서 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅의 적용 방안을 검토 및 제언하고자 하였다. 국내외 수자원 정보 관리의 현황과 방향을 살펴보고, 빅 데이터의 3대 요소인 크기(Volume), 속도(Velocity), 다양성(Variety)과 함께 추가적으로 언급되고 있는 정확성(Veracity), 가치(Value)개념을 연계하였다. 그리고 클라우드 컴퓨팅을 통해 증가하는 수자원 관련 빅 데이터와 수요자의 변화에 대해 신속하고 유연한 대처방안에 대하여 논의하였다. 앞으로의 수자원 정보 관리는 정보의 크기(Volume), 속도(Velocity), 다양성(Variety) 등의 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅 적용을 통한 인명과 재산의 보호 등 공공의 목적, 물 관리 및 재난의 예방과 대응에 필요한 정확한(Veracity) 정보의 생산, 그리고 다른 분야와의 융합 등에 적극적으로 활용함으로써 수자원 정보의 가치(Value)를 높이는 방향으로 나아가야 한다.

핵심어 : 수자원 정보 관리, 빅 데이터, 클라우드 컴퓨팅

Abstract

In recent, the direction of water resources policy is changing from the typical plan for water use and flood control to the sustainable water resources management to improve the quality of life. This change makes the information related to water resources such as data collection, management, and supply is becoming an important concern for decision making of water resources policy. We had analyzed the structured data according to the purpose of providing information on water resources. However, the recent trend is big data and cloud computing which can create new values by linking unstructured data with structured data. Therefore, the trend for the management of water resources information is also changing. According to the paradigm change of information management, this study tried to suggest an application of big data and cloud computing in water resources field for efficient management and use of water. We examined the current state and direction of policy related to water resources information in Korea and an other country. Then we connected volume, velocity and variety which are the three basic components of big data with veracity and value which are additionally mentioned recently. And we discussed the rapid and flexible countermeasures about changes of consumer and increasing big data related to water resources via cloud computing. In the future, the management of water resources information should go to the direction which can enhance the value(Value) of water resources information by big data and cloud computing based on the amount of data(Volume), the speed of data processing(Velocity), the number of types of data(Variety). Also it should enhance the value(Value) of water resources information by the fusion of water and other areas and by the production of accurate information(Veracity) required for water management and prevention of disaster and for protection of life and property.

Key words : Water Resources Information, Big Data, Cloud Computing

[†] To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Inha university, Korea
E-mail: sookim@inha.ac.kr

1. 서 론

과거 1970년대부터 1980년대까지 홍수방어(치수)와 용수공급(이수)을 병행한 수자원 개발과 홍수 예·경보 시스템 구축을 중심으로 진행되었던 국내 수자원 정책은 1990년대 들어 수자원 관리의 합리화 및 조사·연구의 활성화와 함께 하천환경관리 개념을 최초로 도입하였다. 2000년대 이후에는 홍수 및 가뭄관리와 함께 하천의 환경, 생태, 친수적 측면에서 하천의 종합적인 관리를 추구하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013).

국의 수자원 관리 방향을 살펴보면 가까운 중국과 일본의 경우 중국에서는 지역적인 수자원 불균형 문제 및 수질오염에 따른 물 부족 문제의 심각성과 함께 기후변화에 따른 영향의 증가로 인한 물 관리의 중요성을 인지하면서 2011년에 '수리개혁 발전가속화에 관한 결정'을 발표하였다. 2011년~2015년동안 홍수재해방지, 수자원 보장, 수자원절약 보호, 수도보존과 하천·호소 생태복원 등 주요 하천관리 계획의 추진을 통해 그 어느 때보다 하천의 수질과 수자원 관리를 중시하고 있다(Kang et al., 2012). 일본 역시 수자원을 둘러싼 각종 상황이 현저하게 변화되어 1999년에 2010년부터 2015년을 목표 연도로 한 '새로운 전국 종합수자원계획(위터 플랜 21)'을 책정하였다. 위터 플랜 21에서는 건전한 물 순환계의 구축을 위해 지속적 물이용 시스템의 구축, 수환경의 보전과 정비, 물 문화의 회복과 육성의 3가지 기본적 목표를 내걸고 있다(Kim, 2004).

유럽연합(EU)은 지난 2000년 「물관리기본지침(WFD, Water Framework Directive)」을 제시했고, EU의 여러 국가들이 WFD에 관한 사항을 국가 물 정책에 반영하고 있다. WFD는 구체적으로 유역관리나 주민 참여 등의 내용을 포함하고 있다. 영국의 경우 환경청이 장기 국가계획으로 수자원 전략을 제시하고 이에 따른 수자원계획 가이드라인이 마련됐다. 이러한 가이드라인에 따라 산하의 수도회사들은 장기 지역계획으로 수자원 계획을, 단기 지역 계획으로 가뭄 계획을 확립했다. 특히, 실천 계획의 의무화로 물관리 장기 계획의 실행력을 강화했으며, 상세한 지침을 제공해 체계적이고 통일적인 하위 계획이 수립되도록 했다. 프랑스는 1964년 물 관리에 관한 기본법인 수법(Water Acts)을 제정하여 다양한 수자원 관리 문제에 대한 종합적인 하천관리체계를 확립하였다. 지난 2000년 EU에서 통합 수자원관리(IWRM)를 위한 기본적인 가이드라인을 제정함에 따라 2003년에 이를 새로운 「수(水)법」에 적용해 시행하고 있다. 프랑스는 수자원을 국가의 공동 유산으로 인식하고 유역관리 원칙, 생태계 존중 원칙, 협력 공조의 원칙에 의해 지하수와 지표수를 관리하고 있다. 유역관리의 원칙이란 대하천 유역의 수자원 관리에서 '물은 행정적인 경계가 없다'는 것을 고려한 것이며, 이에 따라 주요 6개 강 유역의 공공기관과 개발자들이 서로 협력하도록 하고 있다(Park, 2011).

호주 연방정부와 주정부와 지역공동체는 1980년대 유역의

다양한 문제를 해결하기 위한 방안을 추진하였고 지방의 농업문제에서 기초된 "토지보살핌운동(Landcare)"를 기반으로 환경문제와 수자원문제를 포괄하여 1987년 호주연방차원의 통합유역관리(Integrated Catchment Management-이하 ICM, 또는 Total Catchment Management-이하 TCM)체제를 구축하였다. 호주의 유역관리는 유역내의 공동체와 정부의 노력을 통합하는 것이며, 생산적인 토지, 맑은 물, 식생과 야생생물의 다양성을 유지하도록 하는 것을 기본 목적(Water Resources Management Office, 2007)하는 등 국내·외 수자원 관리 정책은 이수 및 치수에서 환경, 생태, 친수적 수자원 관리 정책으로 변화하였다.

사람 또는 자연생태보다 홍수방어 및 용수공급 등에 중점을 둔 과거의 수자원 관리는 하천정비, 유역관리의 획일화와 하천환경의 질적 저하라는 문제점을 가져오게 되었다. 그러나 최근 국내·외 수자원 정책의 방향은 전통적인 이·치수 부문과 함께 삶의 질을 향상하기 위한 수자원 정보와 지속가능한 물 관리에 대한 요구가 증가하게 되었다. 이로 인하여 기존 이·치수 중심의 수자원 관리는 한계를 갖게 되었고, 다양한 분야의 물 관리를 위한 수자원 정보의 수집, 관리 및 제공이 필요하게 되었다. 또한, 기후변화에 대한 능동적 대처, 수자원 확보의 다변화, 인간과 생태가 어우러진 복합공간으로의 활용 등에 초점이 맞추어지고 있어 수자원과 관련된 정보는 정책 결정에 중요한 배경자료로 인식되고 있다. 이에 본 논문에서는 수자원 정보 관리의 패러다임 변화에 능동적으로 대처하고, 수자원 정보의 효율적인 관리 및 이용을 위해 수자원 분야에서 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅의 적용 방안을 검토 및 제안하고자 하였다. 먼저 국내외의 수자원 정보 관리 현황을 살펴보고, 이에 대한 적용 방안을 살펴본다.

2. 국내·외 수자원 정보 관리의 현황

2.1 국외 수자원 정보 관리

삶의 질 향상과 지속가능한 물 관리에 대한 필요가 강조되면서 기존 수자원 정보의 수집방법과 분석으로는 재난 예방, 대응 및 복원, 다른 사회 시스템과의 연계의 어려움 등 빠르고 효율적인 대응이 어렵다는 것을 직시하게 되었다. 이에 최근에는 기존의 정보 수집 방법인 공학적 접근을 탈피하여 빅 데이터(Big Data)와 같은 복합적인 과학(Complex System Science) 기술을 바탕으로 하는 수자원 정보 관리가 추진되고 있다.

하천, 수문 및 기상 등 빅 데이터 개념의 직접적인 적용과 기술, 경제, 사회 시스템을 함께 활용하는 방안으로 수자원 시스템의 개발 및 적용이 이루어지고 있다.

주요 국외 수자원 정보 시스템 현황을 살펴보면 미국은 물 관련 자료의 저장 및 검색을 위한 통합 시스템인 국가수자원정보시스템(NWIS; National Water Information System)을 운영하고 있다. 분산데이터베이스 구조를 토대로 측정지점, 계측데이터, 침투유량, 지하수, 수질자료 등 수자원 이

용에 관한 데이터를 실시간으로 수집·저장 및 관리를 수행하고 있다. 또한 Web상에서 다양한 파일형식의 데이터를 제공하고 있다. 국가수자원정보시스템(NWIS)은 일반적으로 15~60분 간격으로 실시간 데이터를 수집하고 있으며, 측정된 데이터는 1~4시간마다 모델이나 위성을 통해 전송되고 있다. 미 기상청 하천예보센터(RFC: River Forecast Center)는 미국 전역의 모든 하천에 대해서 하천 수위를 예측하고 동시에 하천 홍수예보에 대한 업무를 담당하고 있다. 미국 전역을 13개 지역으로 구분하고, 각 지역별로 하천의 상태, 하천홍수예보, 관측강수량, 예측 강수량, 적설량 등의 예보를 실시하는 등 물 공급 업무를 위한 수문기상정보를 생산하고 있다(Park, 2006). 캔자스 주는 캔자스 주 내의 자동자료수집시스템(DCPs)을 갖추고 있다. 측정소는 하천, 호수 등 다양한 지역에 위치하고 있으며, 이를 통해 저수지 혹은 댐 운영, 홍수 예보 등의 정보를 제공하고 있다.(National Institute of Environmental Research, 2012). 자동자료수집시스템(DCPs)은 인공위성 통신을 통해 실시간 자료 전송하여 캔자스주와 지방 물 관리 용수관련 기관, 미 기상청 하천예보센터(River Forecast Centers) 등에서 다양하게 이용되고 있다.

국립해양대기청(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration)에서는 위성, 선박, 항공기, 부표, 기타 센서 등으로부터 매일 35억 건 이상의 수문기상정보를 수집하여 이에 대한 분석을 실시하고 있다. 기상예측모델에서 생성되는 수많은 데이터는 정보기관을 포함한 공공 및 민간부문에 활용할 수 있도록 실시간으로 제공된다.

영국은 잠재적 위험관리 프로젝트를 통해 해마다 홍수에 대한 피해가 20배씩 증가하고 있다는 것을 인지하고 호라이즌 스캐닝 센터(The Foresight Horizon Scanning Centre)를 설립하여 기후변화로 인한 강의 형태, 생태계의 변화를 파악하고 홍수 피해를 줄일 수 있는 데이터 기반의 과학적 의사 결정을 지원하고 있다.

브라질 리우데자네이루(Rio de Janeiro)의 경우, 강 유역의 지형 측량자료, 강수량 통계, 레이더 사진 등의 데이터와 교통체증, 정전 사태 등 도시에 영향을 미치는 데이터를 분석하여 48시간 전에 기상 및 교통 상황을 제공하고 있다. 당초에는 홍수 등 비상사태를 예상하기 위해 구축되었지만, 30여 개의 이르는 시 정부 산하부서와 기관이 다양한 정보를 통합, 연동하여 갑작스런 호우나 산사태와 같은 자연재해뿐 아니라 교통관제까지 통합하여 예측가능하도록 하고 있다(National Information Society, 2013).

일본은 하천수위 등과 같은 수문자료와 레이더 강우자료를 포함한 수문정보관리에 대한 중요성을 인식하면서 수문정보관리 전문기관인 하천정보센터(FRICS)를 설립, 하천 및 유역관리를 위한 모든 수문정보를 수집, 분석하고 있다. 홍수·토사재해 등의 비상시에 하천유역에 관한 정보를 신속하고 확실하게 방재관련기관 및 국민들에게 제공하여, 홍수피해 절감 등 하천의 유용한 활용을 위한 활동을 전개해 나가고 있다.

2.2 국내 수자원 정보 관리

국내 수자원 정보 관리를 살펴보면, 대표적인 수자원 정보인 기후, 유량, 수위 자료는 1910년대부터 기록이 남아있으며, 1960년대 들어서면서 본격적인 수문조사사업이 수행되었다. 현재 대부분의 수문관측은 자동으로 계측되고 있으며, 과거 기록지로 기록되었던 자기관측소도 T/M으로 교체되어 실시간으로 자료 수집을 수집하고 있다(Kim et al, 2006). 1999년부터 하천지도전산화사업을 시작으로 하천기본계획보고서, 하천대장, 하천측량도 및 부도 등을 전산화하여 효율적인 공동 활용을 도모하고 있는데, 그 일환으로 하천관리지리정보시스템(RIMGIS, <http://www.river.go.kr/>)을 통해 하천관련 공간 및 속성정보 DB를 제공하고 있다.

국내의 경우 '정부 3.0' 추진으로 공공정보의 적극적인 개방과 이를 공유하는 기능이 확대되면서 수문 및 기상자료, GIS, 연구보고서, 정책자료 등 하천분야에서 활용가능한 자료의 양이 방대해지고 있다. 또한 자료 수집 및 제공 시스템 개선과 함께 활용 가능한 자료의 양뿐만 아니라 자료가 축적되는 속도 또한 매우 빨라졌다. 현재 정부 3.0의 일환으로 국내 주요 기관에서 수자원 분야에 필요한 기본적인 공공데이터를 제공하고 있다(Table 1). 과거 수자원 정보의 수집 및 관리 방법이 이수과 치수 중심의 단순한 수자원자료 수집 및 관리에 그쳤다면, 최근에는 하천지형, 대장, 침수 및 피해이력 등과 같은 하천 이력자료와 기상관측, 기후변화, 레이더 강우, 수위, 유량, 생태 등의 수문기상정보까지 관리대상으로 포함하면서 다양한 수자원 정보를 제공하고 있다. 또한 공공기관 중심의 일방향(One-way) 서비스에서 수요자 중심의 양방향(Two-way) 서비스로 흐름이 옮겨가면서 다양한 정보를 제공하기 위해 노력하고 있다. 이처럼 수자원 정보의 양은 더욱 방대해지고, 제공 및 활용의 폭도 넓어짐에 따라 빅 데이터의 새로운 목적인 가치 있는 정보를 생산할 여건이 마련되고 있는 셈이다. 각 기관별로 현재 제공되는 공공데이터 이외에 향후 신규 및 추가적인 공공데이터의 공개·공유 등을 계획하고 있기에, 수자원 관련 정보의 양은 더욱 방대해지고, 제공 및 활용의 폭도 넓어질 것이다.

현재 국내 수자원 관련 공공기관뿐만 아니라 기업·대학·연구기관 등에서도 개별 또는 협업 등을 통해 수자원 정보의 수집 및 분석이 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 기업·대학·연구기관은 본래 수자원 정보의 수집, 분석, 생산과 유통이 주요 업무가 아니기에 매번 이런 업무를 수행하기에는 많은 인력과 예산이 소요된다. 이러한 이유로 실제 연구 및 사업에 필요한 기본적인 수자원 관련 정보는 주요 공공기관에서 제공하고 있는데, 주요 공공기관에서 공공데이터로 유통을 위해 운영하고 있는 수자원 정보 시스템은 Table 2와 같다.

현재 시스템 상에서 제공되고 있는 공공데이터 현황을 살펴보면 기관별로 중복 제공되는 자료가 있음을 알 수 있다. 다양한 출처에서 수집된 데이터는 각 기관별로 운영되고 있는 독립된 중앙 집중형 데이터센터(Centralized Data Center)에

Table 1. 주요 공공기관별 수자원 관련 공공데이터 현황 (Current status of water resources related public data of each institution)

기관명 (Institution)	수자원 관련 공공데이터 현황 (Current status of water resources related public data)
국토교통부 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)	<ul style="list-style-type: none"> 홍수통제소 : 표준유역관리정보, 하천관리정보, 하천수사용허가 현황정보, 홍수통제소별 시설물 정보, 표준수문 DB, 한강·낙동강·금강·영산강 수문 DB, 기준유량 관리정보, 수문 DB (Flood control office : standard watershed management information, river management information, river status information, facility information, standard hydrological DB, Han river·Nakdong river·Keum river·Yeongsan river hydrological DB, standard discharge management information, hydrological DB) 한국수자원공사 : 지하수정보, 보조지하수관측정보, 국가지하수관측망정보, 지하수지도관련정보, 지하수관련업체, 지하수 위현황, 지하수이용특성별현황, 지하수용도별추이, 지하수허가/신고현황, 지하수이용정보, 지하수관정정보, 우량수위 관측 정보, 다기능보 관리현황, 용수댐 관리현황, 다목적댐 관리현황, 수문제원현황, 수문현황정보, Waterpedia 지식재산권, Waterpedia 지식 BANK, 수질정보, 기술성과정보 (K-water : groundwater information, sub-groundwater observation information, National groundwater monitoring network information, groundwater map related information, groundwater related companies, groundwater level status, groundwater use status, groundwater use trends, groundwater permit/declaration status, water level observation information, multi-function weir management status, dam management status, multi-purpose dam management status, water gate specification status, hydrological status information, Waterpedia intellectual property, Waterpedia intellectual bank, water quality information, results of technique information)
국민안전처 (Ministry of Public Safety and Security)	<ul style="list-style-type: none"> 자연재난 국민행동요령, 민방위대피, 급수시설정보, 종합상황실 (일일재난상황정보), 재난안전교육정보, 재해연보, 재난안전 가이드, 소방방재청 뉴스, 주간안전예보, 중앙민방위방재교육원 홈페이지 연간교육계획, 홈페이지 게시판 DB (안전사고예보) (national action tips for natural disaster, civil defense shelter, water facility information, general situation room (daily disaster information), disaster safety education information, disasters year book, disaster safety guidelines, news of national emergency management agency, weekly safety forecast, annual education plan of civil defense emergency management training center, homepage main board DB (accident forecast))
환경부 (Ministry of Environment)	<ul style="list-style-type: none"> 한국환경공단 : 공공하수처리시설 운영 현황, 하수도 통계, 상수도정보 통합 DB, 수도정비기본계획 (Korea environment corporation : public wastewater treatment plants operating status, sewer statistics, waterworks information integrated DB, water maintenance basic plan) 국립환경과학원 : 수질자동측정소 정보, 수질자동측정망 측정자료, 지하수수질측정망 운영결과 DB, 오염원 DB, 전국오염원 조사자료, 수생태 DB, 수질 DB, 먹는 물 공동시설 수질검사 결과, 먹는 샘물 등 영업자 위반내역, 습지조사정보 (National institute of environmental research : auto measuring information of water quality, water quality data of auto measuring network, operation result of groundwater quality measuring networks DB, contamination DB, national contamination data, aquatic ecology DB, water quality DB, drinking water quality test result, violation history for drinking water, wetland survey information) 기상청 : 태풍자료, 지상자료, 장기예보 - 장기예보, 장기예보 - 기후전망, 위성자료 - 원시자료, 위성자료 - 이미지자료, 역사기후자료 - 자기기록지, 수치자료 - 이미지자료, 수치자료 - 원시자료, 세계자료/세계기상관측자료, 기후통계분석자료 - 기후통계, 기후통계분석자료 - 기후분석, 기후예측자료 - 다중모델앙상블 예측결과, 기후예측자료 - WMO GPC 예측결과, 기후변화과학 - 기후변화시나리오, 기후변화감시자료 - 기후변화감시, 기상특정보 - 기상특보, 레이더자료 - 원시자료, 레이더자료 - 이미지자료 (Korea Meteorological Administration : typhoon data, ground data, long-term forecast, long-term forecast - weather forecast, satellite data - raw data, satellite data - image data, historical climate data - self administered, numerical data - image data, numerical data - raw data, world data/world meteorological observation data, analysis of data for climate statistical - climate statistical, analysis of data for climate statistical - climate analysis, climate forecast data - prediction result of multi-model ensemble, climate forecast data - prediction result of WMO GPC, climate change science - climate change scenario, climate change monitoring data - climate change monitoring, weather newsflash information - weather newsflash, radar data - raw data, radar data - image data)
농림수산식품부 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs)	<ul style="list-style-type: none"> 한국농어촌공사 : 시설제원 (수자원운영처, 2015년 개방 예정), 수위 및 방조제 계측 정보 (새만금 사업단, 2016년 개방 예정), 저수지 수위 DB (수자원 운영처, 2016년 개방 예정) (Korea Rural Community Corporation : facility specification (water resources operation office, opening plan at 2015y), water level and tide embankment measuring information (project office of Saemangeum, opening plan at 2016y), reservoir water level DB (water resources operation office, opening plan at 2016y))

저장되고 있는데, 이러한 중앙 집중형 방식(Centralized Data Base)은 동일한 자료에 대한 중복관리가 어려울 뿐만 아니라, 기 수집·저장된 자료의 검증과 실시간 데이터의 즉각적인 업데이트가 불가능하여 제공되는 자료에 대한 신뢰성을 떨어뜨리는 문제를 안고 있다.

중앙 집중형의 전통적인 시스템은 저장소 한 곳에 모든 데이터를 수집하고 저장하는 방법으로 활용 가능한 자료가 방대해

진 지금, 이 시스템을 지속하기에는 현실적으로 불가능할 것으로 예상되고 있다. IT 기술의 발달과 스마트 기기의 보편화는 다양한 데이터를 생산하여 제공하고 있지만, 가치있는 자료생산이 아닌 수집·저장에 그치고 있으며, 가치있는 자료라 할지라도 시간에 따라 그 가치가 모호해지고 있다. 따라서 중앙 집중형의 수자원 자료 제공 시스템은 수집·생산된 모든 데이터를 저장할 수도 없지만, 저장할 필요성에 대한 고민도 갖게 한다.

Table 2. 국내 주요 공공기관별 수자원 정보 시스템 및 활용 현황 (Current status of water resources information system and operation of each institution)

기관 (Institution)	시스템명 (System Name)	구축 및 활용 현황 (Construction and Application Status)
국토교통부 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)	국가수자원관리 종합정보시스템 (WAMIS)	• 10개 분야(수문기상, 유역, 하천, 댐, 지하수, 이수, 수도, 환경생태, 자연재해, 지형공간) 총 300여개의 콘텐츠와 기초 수문자료 및 GIS를 이용한 수자원 단위지도 자료 등을 제공 (10 fields(hydrometeorological, watershed, river, dam, groundwater, water use, waterworks, environment and ecology, natural disaster, geospatial) provide total 300 contents and water resources unit map using basic hydrological data and GIS)
	물관리정보유통시스템 (WINS)	• 10개 분야(수문/기상, 댐운영, 환경생태, 지하수, 이수, 수도, 하천, 유역, 지형공간, 자연재해)의 65개 세부정보를 제공하고 있으며, 현재 5개 부처 10개 기관 65종의 자료를 공동활용 (10 fields(hydrological/meteorological, dam operation, environment and ecology, groundwater, water use, waterworks, river, watershed, geospatial, natural disaster) provide 65 specific data and joint use of 65 data from 5 ministries and 10 agencies)
	하천관리지리정보시스템 (RIMGIS)	• 하천관련 공간 및 속성정보 데이터베이스를 전산화하여 효율적인 이용을 도모하고 있으며, 하천공간 자료에 대한 관리와 하천 관련 인허가 업무를 지원 (computerize the river relevant spatial and attribute information database to promote effective use, and support the business license to the relevant river space data)
	홍수위험지도시스템 (Flood risk map system)	• 국가하천을 대상으로 홍수위험지도를 제작하여 지자체 및 관련부처에 제공함으로써 효율적인 방재대책 수립에 활용 (by making flood risk maps and provide them to relevant ministries and agencies to establishing effective disaster prevention)
	홍수예보시스템 (Flood forecast system)	• 수문자료 관측, 댐자료 및 기상자료 공유, 관측 및 공유된 수문자료와 기상자료를 실시간으로 전송·수집·가공·저장, 저장된 수문자료를 기초로 홍수예측(강우유출모형 등) 및 판단, 홍수예보 발령 및 전달 (observe the hydrological data, share both dam and meteorological data, send·collect·processing·save the hydrological and meteorological data, flood forecast(rainfall-runoff model etc.) based on these data, issue and deliver the flood forecast)
	주요지천홍수예보시스템 (Flood forecast system for main tributaries)	• 한강 유역 주요 지천(중랑천, 탄천, 왕숙천, 인양천)의 홍수 자료 관리와 홍수예보를 목적으로 구축되었으며, 웹(Web) 기반의 자동예측 및 다중예측 기능 활용하여, 홍수예측 업무 편의성을 향상 (constructed for flood data and forecast in Han river main tributaries, and also improve the business convenience in flood forecast by using web based auto forecast and multi forecast function)
국토교통부 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)	하천수 사용실적 관리시스템 (RAS)	• 일정규모(1일 5천 ^m 생활, 1천 ^m 공업, 8천 ^m 농업용수) 이상 의 하천수사용에 대해 일별 사용실적 및 계획 자료를 전산관리하고 하천수사용 통계자료를 제공 (provide statistical data of river usage and computerized the management and planning of river usage more than certain size(5000 ^m /day in living, 1000 ^m /day in industry and 8000 ^m /day in agricultural))
	국가수문자료품질관리시스템 (National hydrological data quality management system)	• 자동 수집된 수문자료에 대한 자동품질관리 실시, 지점별 결측치 및 이상치 자료 자동점검 및 담당자에게 고지와 이를 통한 자료의 값과 품질등급 확정 및 통계분석 실시, 유량조사 사업단의 유량측정성과와 수위유량관계곡선식 수집 및 확인 수행 등을 시스템 상에서 실시 (perform automatic quality control on the collected hydrological data, automatically checks and notices of the missing values and outlier data to the person in charge and confirm the data value and perform the statistical analysis, conduct discharge measurement and collect rating curve on system)
국민안전처 (Ministry of Public Safety and Security)	재난정보공동활용시스템 (Disaster information system)	• 재난관리책임기관별로 보유하고 있는 재난정보를 실시간 수집하여 공동활용 할 수 있도록 제공하는 재난정보 종합유통센터로서, 43개 기관의 재난상황정보, 위험정보, 자원정보, 통계정보 등 총 223종의 재난정보를 연계 및 조회 (it is a disaster information comprehensive distribution center which can collect disaster data and information in real-time to joint usage, it can link and provide 223 disaster information such as disaster status information, risk information, resource information statistical information etc. from 43 institutions)
	재난영상정보(CCTV) 통합·연계시스템 (Disaster image information(CCTV) integrated system)	• 지자체, 유관기관별 재난관리용 CCTV를 통합·연계하여 재난영상정보를 공동 활용하는 시스템으로, 실시간으로 정보 제공이 가능하며, 재난영상정보의 색상 및 형태 변화를 실시간으로 감시하여 하천범람, 산불, 도로유실, 위험지역침입 방지를 위한 실시간 탐지가 가능 (it is a joint usage system that can provide CCTV for disaster management and disaster image information, it can provide these data in real-time and helpful to prevent river inundation, forest fire, damage on road etc.)

Table 2. 국내 주요 공공기관별 수자원 정보 시스템 및 활용 현황 (Current status of water resources information system and operation of each institution) (Cont.)

기관 (Institution)	시스템명 (System Name)	구축 및 활용 현황 (Construction and Application Status)
국민안전처 (Ministry of Public Safety and Security)	상황전파시스템 (Status delivery system)	<ul style="list-style-type: none"> 재난 발생 시 관할 지자체와 소방서, 경찰서 등 유관기관뿐만 아니라 사고발생지역 주민들에게까지 자동으로 재난상황을 전파할 수 있는 시스템으로서, 881개 주요기관, 24,000여명의 사용자가 24시간 재난상황관리를 위해 활용하고 있는 재난상황 전파 수단 (it is a disaster delivery system to local government such as fire station and police office when disaster is occurred. it is used by 881 main institution and 24,000 users to manage the 24 hour disaster control)
	중앙 및 지자체 재난관리 시스템 (Disaster management system of central and local government)	<ul style="list-style-type: none"> 풍수해, 대설, 지진 등 재난유형별로 재난관리(예방→대비→대응→복구)를 정보화 및 자동화하여 재난정보를 수집·전파하고 표준행동절차(SOP)에 따른 업무를 지원하는 시스템 (informationization and automation the disaster management(prevention) according to the disaster type such as storm and flood damage, heavy snow, earthquake and so on for deliver the disaster information and support the task according to SOP)
	재난관리정보 DB센터 (Disaster management information DB center)	<ul style="list-style-type: none"> 재난관리 정책수립 및 의사결정을 지원하기 위한 기반 구축 및 분석·예측하는 서비스를 제공하며, 업무시스템별로 분산·관리되고 있는 재난정보(662종)의 표준화 및 통합관리와 축적된 재난정보를 바탕으로 과학적인 분석·예측(308개 서비스)을 통한 의사결정을 지원 (it provide base construction, analyze and forecast service which can support decision making and policy making in disaster management by using standardization and integration of disaster information)
환경부 (Ministry of Environment)	물환경정보시스템 (Water Information System)	<ul style="list-style-type: none"> 수질 및 수생태계 환경 기준으로 건전한 수생태계를 유지하고 물의 이용목적에 적합한 수질을 보전하기 위해 구성된 사이트로 '물환경평가', '수질측정망', '수리수문자료', '호소환경자료', '유역환경자료', '물관련자료' 등의 콘텐츠를 제공 (it was established for maintain a healthy aquatic ecosystems and to preserve the quality of water used for the purpose. it provide some contents such as 'assessment of water environment', 'water quality monitoring network', 'hydraulic·hydrologic data', 'reservoir environmental data', 'watershed environmental data', 'water related data')
	국가상수도정보시스템 (National Waterworks Information System)	<ul style="list-style-type: none"> 수질현황, 시설정보 및 기술정보 등 상수도 분야 주요 정보의 수집과 제공, 수질입력프로그램(WIIS)과 정책지원 프로그램 운영, 상수도 관련 정보의 표준화 및 공동 활용을 통한 효과적인 정책업무 및 정책지원 등 상수도 정보를 수요자 관점에서 제공 (collect and provide of main information such as water quality status, facility information, and technique information, operate the program like WIIS and policy support. standardization of waterworks related information and joint work for effective policy work and support in aspects of consumer)
환경부 (Ministry of Environment)	기상청 종합기상정보시스템 (COMIS-3)	<ul style="list-style-type: none"> 연속적으로 발생하는 대량의 실시간 자료를 수집·처리·분배하기 위해 운영하고 있으며, 세계기상통신망(GTS)의 지역통신센터(RTH)인 동경·북경과 연결되어 세계기상자료를 교환하고 있음. 지상 및 고층관측자료 등 20여 종의 세계기상자료와 악기상 예상도 등은 국내 각 기상관서와 관련 기관에 제공 (it is operated to collect·handle·distribute the number of real-time data, and connected to RTH in GTS to exchange the world meteorological data. 20 types of world meteorological data and severe weather prediction map such as ground and upper observation data are provided to weather agencies and related institutions)
	방재기상정보 포털서비스시스템 (Meteorological Information Portal Service System(Disaster Prevention))	<ul style="list-style-type: none"> 방재, 수문, 환경, 교통, 농수산, 국방기관, 민간예보사업자, 연구기관 등의 유관기관과의 방재업무 사전예방 및 신속한 대응을 위해 다양한 기상자료 조회서비스를 제공하는 시스템으로 기상청에서 생산·수집된 다양한 기상자료를 방재업무 관련 기관에 제공 (it is a system that provide inquiry service to cope with disaster prevention and rapid action. these data provided from korea meteorological administration to disaster related agencies)
	국가기상기후정보 통합웹포털 (National Weather Climate Information Integrated Web Portal)	<ul style="list-style-type: none"> GIS 공간정보를 기반으로 종합기상감시 기상기후분석, 메타관리(지상, 해양), 통합품질관리(지상,해양)의 4개 분야로 구축되었으며, 기상청 관측지점 약 550여개소를 포함하여 27개 기관에서 운영하고 있는 약 3,500여 개소의 표준화된 기상관측자료 등을 제공 (it was constructed 4 parts which are comprehensive meteorological monitoring, weather climate analysis, meta management(ground, ocean) and integrated quality management(ground, ocean) based on GIS system, and provide standardized meteorological observation data of 3,500 stations include 550 korea meteorological observation stations which are operated by 27 agencies)

Table 2. 국내 주요 공공기관별 수자원 정보 시스템 및 활용 현황 (Current status of water resources information system and operation of each institution) (Cont.)

기관 (Institution)	시스템명 (System Name)	구축 및 활용 현황 (Construction and Application Status)
농림수산 식품부 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs)	농촌용수종합정보시스템 (RAWRIS)	<ul style="list-style-type: none"> 농촌용수 및 자원정보 등을 온라인으로 제공하기 위한 시스템으로 농촌용수의 합리적 이용 및 보전관리, 정부 정책방향 지원체계 구축, 부존량, 수요량, 공급량 및 물 부족현황이 용수 및 행정구역 단위로 파악, 공개됨으로서 최적의 농촌용수개발계획과 가뭄대책 수립의 기여와 영농활동을 지원 (it is a system provide the rural water and resource information in online to support optimal rural water develop plans and prevention of drought through collect data such as resonable usage of rural water, supply amount, demand amount etc.)
	농어촌지하수넷 (Rural Groundwater Net)	<ul style="list-style-type: none"> 지하수 주제도정보, 시설정보, 관측정보를 온라인으로 제공하기 위한 시스템으로 농촌지역 지하수의 기존 자료 수집, 이용현황, 수질 및 수리 현황 조사와 기타 세부 조사를 실시하여 지하수를 최적 관리하고, 지하수정보 공동 활용을 위한 온라인 유통 체계 구축과 농업용 관정 점검경비 등 정책방향 수립과 대내외 업무를 지원 (it is a system to provide thematic groundwater information, facility information, observation information in online. it perform specific survey in water quality and hydraulic information and collect groundwater data in rural area to manage in best and also, support to construction of online distribution system for joint use of groundwater information and establish policy direction such as agricultural wells inspection maintenance)

홍수 예·경보나 재해발생시 등 신속한 결정과 조치를 위해서는 수요자가 필요로 하는 지점 및 지역의 데이터를 실시간으로 수집하여 의미는 자료로 생산, 분석하는 시스템이 필요하다. 이에, 중앙 집중형의 전통적인 관리 방법에서 탈피하여, 광범위하게 생산되는 데이터를 체계적으로 활용, 분석하는 기술과 다양한 수자원 정보를 연계할 수 있는 분산형 시스템의 구축과 활용이 필요한 시점이다.

3. 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅

3.1 빅 데이터 (Big Data)

빅 데이터(Big Data)란 무엇인가에 대하여 다양한 정의들이 존재하고 있다. 빅 데이터에 대한 최초이자 가장 일반적으로 정의로는 “데이터를 수집, 저장, 관리, 분석하는 기존 데이터베이스 처리방식을 뛰어넘는 데이터 집합 및 이러한 데이터로부터 가치를 추출하고 결과를 분석하는 기술”을 의미한다. 통상적으로 사용되는 데이터 수집 및 관리, 처리 소프트웨어의 수용 한계를 넘어서는 크기의 데이터를 말한다. 빅 데이터의 규모는 단일 데이터 집합의 크기가 수십 테라바이트(TB)에서 수 페타바이트(PB)에 이르며, 그 크기가 끊임없이 변화하는 것이 특징이다(Wikipedia, 2015). 빅데이터는 데이터의 양(Volume), 데이터 입출력의 속도(Velocity), 데이터 종류의 다양성(Variety)이라는 세계의 차원(3V)으로 정의할 수 있는데, 이 정의는 Gartner의 Doug Laney에 의해 2001년 처음 제시되었다. 이 “3V” 모델은 이후 가장 널리 사용되는 빅 데이터의 정의가 되었으며, 이 후, 유효성(Validity), 신뢰성(Veracity), 가치(Value), 가시성(Visibility) 등 다양한 V가 추가되면서 빅 데이터에 대한 정의는 확대되어 왔다.

하지만 여기서, 중요한 사항은 빅 데이터가 단순히 많은 양의 데이터를 의미하는 것을 의미하는 것이 아니다. 데이

터 양을 수집하는데 그치는 것이 아니라 많은 양의 데이터를 효과적으로 처리하고 판별할 수 있는 기술과 함께 가치 있는 정보를 생성할 수 있는 데이터를 빅 데이터의 정의로 해석해야 할 것이다.

3.2 클라우드 컴퓨팅 (Cloud Computing)

클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing)은 인터넷 기반(Cloud)의 컴퓨팅(Computing) 기술을 의미한다. 인터넷 상의 유틸리티 데이터 서버에 프로그램을 두고 그때그때 컴퓨터나 휴대폰 등에 불러와서 사용하는 웹에 기반을 둔 소프트웨어 서비스로 개인이 가진 단말기를 통해서 주로 입/출력 작업만 이루어지고, 정보 분석 및 처리, 저장, 관리, 유통 등의 작업은 클라우드라고 불리는 제 3의 공간에서 이루어지는 컴퓨팅 시스템 형태라 할 수 있다(Wikipedia, 2015). 클라우드(Cloud)라는 용어는 인터넷을 그림으로 표현할 때 구름과 같은 그림으로 나타내는 것으로부터 유래된 것으로 빅 데이터 개념이 나오기 시작한 2006년부터 동일하게 다루어졌다.

빅 데이터와 클라우드의 정의를 살펴보면 뚜렷한 공통점을 찾기는 힘들지만, 빅 데이터를 처리하기 위한 분산처리는 클라우드의 주요 기술이기에 빅 데이터와 클라우드는 밀접한 관계라고 할 수 있다. 빅 데이터는 대용량 데이터를 다루는 특성상 한 대의 컴퓨터에 모든 데이터를 저장하는 것은 불가능하므로, 대용량 데이터를 저장하기 위해 여러 대의 컴퓨터를 이용하여 나누어서 저장하는 분산 환경의 저장 시스템을 사용해야 한다. 또한, 분산된 데이터를 처리하기 위해 여러 대의 컴퓨터가 유기적으로 상호 연결되어 수행되는 분산 컴퓨팅을 기반으로 구성되어야 한다. 빅 데이터는 클라우드 가상화 기술을 통해 이전에는 불가능하게 보였던 수십 테라바이트(TB)에서 페타바이트(PB)까지의 빅 데이터를 저장하고, 이를 분석하기 위한 컴퓨터를 원하는 만큼 손쉽게 제공받을 수 있게 되었다(Lim et al., 2013)

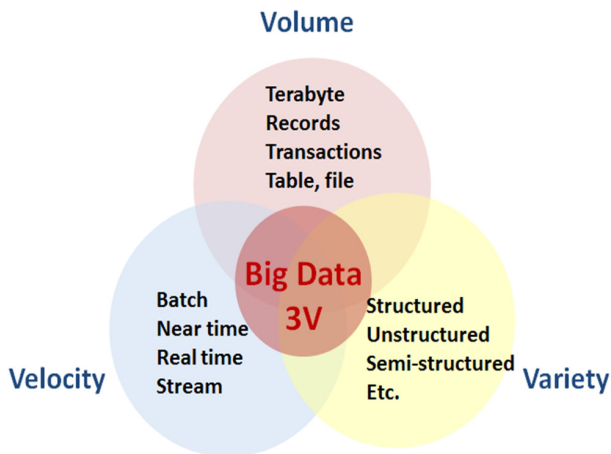


Fig. 1. 3V (Volume, Velocity, Variety) of Big Data(TDWI Reserach, 2011).

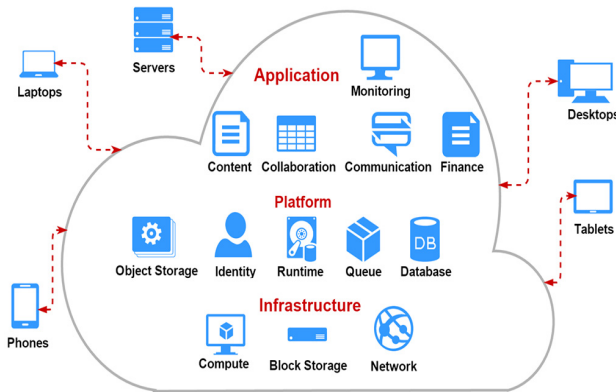


Fig. 2. Cloud Computing (Wikipedia).

4. 빅 데이터 기반의 수자원 정보 구축 및 활용

오늘날 필요한 수자원 정보 관리의 특징을 빅 데이터 개념에 적용해보면 다음과 같이 설명할 수 있다. 정보의 양은 많아졌으며(Volume, 대용량), 실시간 분석을 필요로 하며(Velocity, 빠른 속도), 통일된 구조가 아닌 다양한 형태의 자료(Variety, 다양성)가 존재한다. 그러나 수자원 관련 기관별로 운영되는 중앙 집중형 데이터센터 환경에서는 이러한 새로운 개념의 적용은 아직까지 부담으로 작용하고 있다. 분산형 수자원 정보 시스템은 본래 기관별로 수집·저장·제공하는 데이터만을 제어하기에 필요 이외의 자료에 대한 의존도를 감소시켜 대용량 자료의 저장이 가능하고, 기존 시스템의 확장이 용이하다. 또한, 클라우드 컴퓨팅이 적용된 분산형 수자원 정보 시스템은 다양한 관련 기관의 시스템들이 연계되어 있기에 하나의 시스템에 문제가 생기더라도 문제가 발생한 시스템의 서비스만 중지하면 되기에 전체적인 수자원 정보 시스템의 신뢰성과 가용성 등은 향상될 수 있다. 본 논문에서는 빅 데이터의 기본 3대 요소인 3V와 함께 최근 추가적으로 언급되고 있는 다양한 V 요소 중 수집되는 자료의 정확성 (Veracity)과 제공되는 자료의 가치 (Value) 부분을 고려하여 수자원 분야의 적용 가능성을 살펴보았다.

4.1 수자원 정보의 수집 및 저장 (Volume)

크기(Volume)는 데이터의 크기를 의미하며, 축적되는 데이터 크기가 수직 확장성의 물리적 한계를 초과하는 거대한 데이터 사이징(Data sizing)을 의미한다. 최근 수자원 정보들은 수집되는 데이터 집합의 크기(Volume)가 매우 커지고 있다. 빅 데이터의 활성화를 위해 다양한 정보의 수집과

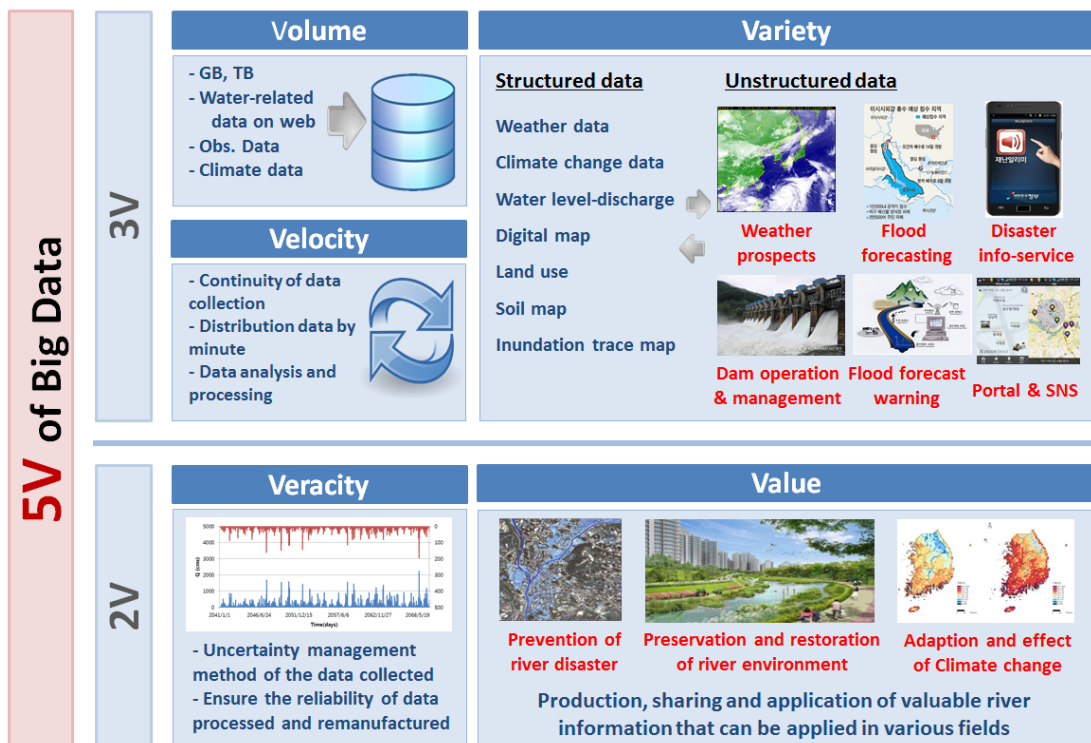


Fig. 3. 3V (Volume, Velocity, Variety) and additional factor(Veracity, Value) of Big Data.

공공데이터의 적극적인 개방에 따라 활용 가능한 수자원 정보 또한 매우 방대해지고 있어, 전통적인 자료 관리방법을 통한 저장, 관리, 분석을 할 수 있는 규모는 이미 초과한 상태이다. 이처럼 끊임없이 증가하는 수자원 및 하천관련 정보 데이터의 수집과 관리를 위해서는 클라우드 기술의 접목이 필요하다. 다양한 공공기관에서 수집 및 구축하고 있는 각각의 데이터를 범 정부차원에서 통합관리하고 공공데이터의 제공 목적을 위해서는 빅 데이터(Big Data)나 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing)기술을 적용한 데이터의 통합관리가 필요하다.

4.2 데이터 실시간 처리와 제공, 분석 속도 (Velocity)

속도(Velocity)는 데이터 변화와 축적, 분석 속도로 데이터의 변화속도에 비해서 더 빠른 결정이 이루어지는 것을 의미하지만, 단순히 데이터의 실시간 수집 및 제공 속도 향상을 의미하지 않는다. 방대한 수자원 정보가 유입되는 즉시, 가치있는 정보를 판별하고 수요자가 원하는 형태로 활용가능한 과정까지 포함한다. 축적되고 변화하는 데이터에 대한 실시간 분석과 반응이 포함된 과정으로, 과거 재난발생 후 구조물적 방안을 통한 사후 대책보다 재난발생 전이나 발생 시 활용 가능한 비구조물적 사전 대책이 더 중요하게 인식되고 있음을 의미한다. 이러한 이유로 실시간 수자원 정보의 빠른 분석과 의사결정은 기상예보나 홍수 예·경보, 재난발생시 매우 중요하다고 할 수 있다. 클라우드 컴퓨팅은 통해 각 기관별로 흩어진 독립적인 공공데이터 시스템 및 수자원 정보를 단일 시스템으로 인지하고 접근할 있으며, 수자원 관련 빅 데이터에 대한 빠른 처리 및 분석이 가능하다. 이를 통해, 빅 데이터의 급격한 증가와 이를 이용하려는 수요자 수의 변화에 신속한 대처가 가능하고 처리수준에 따라 유연하게 조절할 수 있다.

4.3 다양한 자료의 처리 및 융합 (Variety)

다양성(Variety)은 데이터의 다양한 형식과 채널을 의미한다. 전통적인 수자원 시스템 환경에서는 크기(Volume)나 속도(Velocity)가 주를 이루었으나, 지금은 데이터의 종류 또는 다양성(Variety)까지 증가하게 되었다. 다시 말해, 분석해야할 수자원 정보의 형태는 매우 다양해졌고, 많은 옵션과 변수에 의해 자료의 분석 및 해석이 이루어져야하기에 과거만큼 쉽지 않다는 것을 의미한다. 빅 데이터에 대해서 구체적이고 정량적인 정의가 합의된 바는 없지만 빅 데이터를 구성하는 다양한 형태의 데이터들은 정형화 정도에 따라 정형데이터(Structured data)와 비정형데이터(Unstructured data)로 구분된다. 정형데이터는 주로 국가와 회사(고정된 필드)에서 관리하고 있는 데이터들로 기상관측정보, 수위유량관측정보, 수치지형도, 하천지리정보, 재해연보 등과 같이 데이터를 예를 들 수 있다. 비정형 데이터는 고정된 필드에 저장되어 있지 않은 블로그, 트위터와 같은 소셜네트워크를 통해 만들어진 데이터이다. CCTV, 인공위성 자료, 주민신고 등 텍스트, 이미지, 동영상 등이 이에 해당된다고

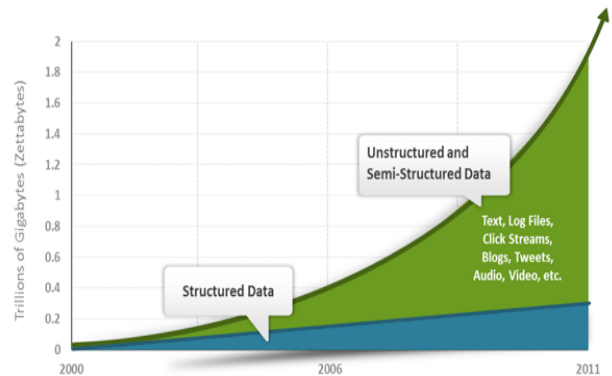


Fig. 4. Volume of digital archive data (IDC Digital Universe Study, 2011).

볼 수 있다. 비정형 데이터에는 이용자의 주관적인 평가가 담겨 있으며, 물 환경에 대한 수요와 트렌드, 홍수 및 가뭄 정보의 실시간 공유 및 연계, 수자원 관리기관의 이미지와 신뢰도 등을 알 수 있다.

빅 데이터를 구성하고 있는 정형데이터와 비정형데이터의 증가량을 살펴보면 Fig. 5에서처럼 정형데이터는 증가량이 연간 40~60% 수준으로 선형적으로 증가하고 있지만, 비정형 데이터의 증가량은 예측하기 어려운 정도로 증가하고 있다. 전 세계 데이터의 90%는 지난 2년 동안 만들어졌으며, 이 중 80%이상이 구조화되지 않은 비정형 데이터라는 말이 있을 정도로 텍스트, 이미지, 동영상, 음성 데이터 등 비정형 데이터가 압도적으로 증가하고 있다.

빅 데이터의 개념이 적용되기 전 비정형 데이터는 중복되거나 시간이 지나면 가치없는 데이터로 취급되었다. 그러나 IT 기술 및 웹 서비스의 발달, 클라우드 컴퓨팅 등장은 자료의 접근성의 확장되면서 비정형 데이터도 정형 데이터와 함께 중요한 의미를 가지게 되었다. 미래 수자원 정보의 관리 방향도 기존 정보의 수집, 저장 및 관리 등 정형데이터 중심에서 빅 데이터 개념의 적용을 통해 다양하게 생성·수집되는 비정형데이터와의 연계·분석이 필요하다. 이를 통해 관련 데이터의 융합 및 활용 방안을 마련하고, 새로운 수자원 정보를 생산 및 제공할 수 있어야 할 것이다.

4.4 수집 및 재생산 되는 자료의 정확성과 가치 (Veracity, Value)

빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅 개념의 적용에 있어 기상예보나 홍수 예·경보, 재난발생시 실시간 정보를 빠르게 분석하는 것도 중요하지만, 인명과 재산에 관련된 상황판단 및 의사결정과도 밀접한 관련이 있기에 정확한 데이터를 이용한 분석과 제공은 매우 중요하다 할 수 있다. 대부분의 수자원 관련 정보는 관측 시설과 장비 등을 통해 자료의 생산과 수집이 이루어지고 있기에, 고품질 자료의 획득과 관리를 위해서는 관측시설 및 관련 장비의 유지관리가 철저히 이루어져야 한다. 이렇듯 높은 품질수준 및 장기간의

자료축적을 위해서는 상당한 투자와 노력이 필요하지만, 인식과 노력의 부족으로 양질의 자료가 절대적으로 부족하여 각종 수문관련 연구와 설계 등에 많은 어려움을 겪고 있다(Kim, 2010). 그러나 품질관리를 통해 최상의 데이터 품질을 유지하고, 최신 관측기법을 적용하더라도 일부 데이터는 본질적으로 불확실성을 가지며 그 불확실성은 다양한 방식으로 나타난다. 이에 신뢰도가 낮은 다양한 자료의 조합을 통해 보다 정확하고 유용한 데이터 포인트를 만들어내는 데이터 융합(IBM, 2012) 등의 방법을 통한 대비가 필요하다. 수자원 정보를 담당하는 다양한 기관에서는 관측 및 예측자료에 대한 불확실성을 인지하고 신뢰성 확보 및 자료의 활용 방안을 결정하기 위해 노력하고 있다. 그러나 아직은 선행 및 기초연구 단계 수준으로, 불확실성 관리와 신뢰성 확보를 통한 수자원 정보의 정확성(Veracity)을 향상시킬 수 있는 연구와 개발이 진행되어야 할 것이다.

Fig. 6과 같이 과거 빅 데이터 화두가 기반 구축 및 분석 기술에 초점이 있었다면, 최근의 동향은 빅 데이터를 통해 어떤 가치(Value)를 창출할 것인가로 이동하고 있는 중이다(Yoo, 2013).

수자원 정보는 기상, 수문, 지리, 환경, 교통, 보건, 교육 등 다양한 분야와 맞물려 있어, 이들 분야와 융합을 통해 또 다른 데이터를 생산하고 가치 있는 정보를 생산할 수 있는 공공데이터이다. 따라서, 다양한 기관이 보유하고 있는 많은 양의 데이터를 어떻게 활용하느냐에 따라 향후 수자원 정보 관리와 정부 3.0의 공공정보 개방 및 공유의 성패가 좌우된다고 볼 수 있을 것이다.

미래 수자원 정보의 관리 방향 역시 빅 데이터를 활용하여 얼마만큼 가치(Value) 있는 수문·기상 정보를 생산하고 제공할 수 있을 것인가에 있다고 해도 과언은 아니다. 빅 데이터를 구성하는 수자원 관련 정보는 정형성과 비정형성이라는 특성을 가지고 있으며, 시간이 흐를수록 데이터의 양과 속도는 빠르게 전송되고 변화하고 있기에 그 안에서 의미를 가지는 중요한 정보를 판별하기란 쉽지 않다. 그렇기 때문에 다양하고 많은 데이터 안에서 수요자가 원하는 가치(Value)를 얻기 위해 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅의 적용 방안이 더욱 중요하게 떠오르고 있는 것이다.

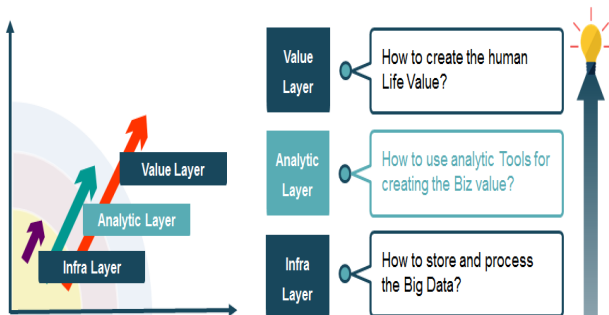


Fig. 5. 3 Layer of Big Data (KT 경제경영연구소, 2012).

앞으로 수자원 정보의 관리는 일반적으로 정의되는 빅 데이터의 3V와 함께 수문·기상 자료의 불확실성을 줄이고, 데이터의 신뢰성(Veracity)을 확보하기 위한 노력과 연구가 필요하다. 이를 통해 자연재난 예방 및 대응, 하천환경 보전 및 복원, 기후변화 영향 및 적응과 같이 수자원과 관련된 다양한 분야에서 적용 가능한 가치(Value)있는 정보를 생산, 공유 및 활용할 수 있을 것이다.

5. 미래 수자원 관리 전략

5.1 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅을 통한 IT 기반의 물 관리 거버넌스 실현

현재 물 관리 분야는 해결해야 할 많은 과제들을 안고 있다. 가뭄과 홍수, 수질 및 환경오염, 지역 간 물 분쟁, 개발에 따른 갈등 등은 우리의 현안문제이며, 장래의 물 위기에 대한 국민적 인식과 물 문제에 대한 공감대 조성방안 등이 대표적인 사항이라 할 수 있다(Shim, 2006). 최근에는 생태계 및 기후변화 영향까지 해결해야하는 과제들이 늘고있다.

빅 데이터의 가장 큰 장점 중 하나는 다양한 사회현안에 대해 빅 데이터 분석을 적용하여 문제해결이 가능하다는 것이다. 빅 데이터를 통해 문제의 본질을 규명할 수 있고, 사전 징후 포착 및 위험관리가 가능하다(Kim, 2012). 이러한 측면에서 빅 데이터는 현실적인 문제인식과 효율적인 해결방안, 최적화된 정책수립을 위한 중요한 수단으로 활용될 수 있다. 그러나 빅 데이터를 활용해서 가치를 창출하는 작업은 어느 한 전문가나 한 부서, 한 기관이 독자적으로 추진하기에는 여러 가지 측면에서 적절하지 못하다. 특정한 이슈와 관련된 빅 데이터 분석을 시도할 경우, 해당 이슈 해결과 직접적으로 관련된 기관, 정책전문가, 데이터 보유 기관, 분석 전문가 등을 포함한 다양한 기관 및 전문가간의 협력이 필요하다(Korea Meteorological Administration, 2013).

국내의 경우 수자원 정보 관리를 하는 기관과 기관, 또는 수자원 정보를 필요로 하는 분야마다 각각의 데이터를 수집과 관리, 공유 및 융합에 있어 기관 및 분야별로 기술과 시스템의 격차를 보이고 있다. 하지만, 아직 빅 데이터가 도입 초기단계인

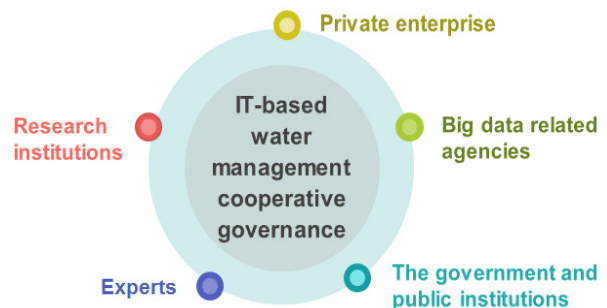


Fig. 6. Established on cooperative governance of water management based IT

점을 고려한다면 각 분야별로 이슈에 대해 상호협력을 통한 기술 공유, 민관 및 시민 등 다양한 주체의 참여와 가치창출의 노력을 통해 이러한 격차는 충분히 해소될 수 있을 것으로 판단된다. 이는 IT 기반의 물 관리 협력 거버넌스 실현과 빅 데이터 및 클라우드 컴퓨팅의 성공적인 도입 및 확산을 위해 우선시 요구되는 사항이라 할 수 있을 것이다.

5.2 재난 예방 및 대응 능력 강화

과거 태풍, 홍수, 가뭄, 폭설 등 자연재난에 대해 소극적 대응이나 순응하는 삶에서 최근 관련기술의 발전은 자연재난에 대한 예측과 대응, 적응 등을 가능케 하며 막대한 인적, 물질적 손실을 줄여왔다. 이러한 예측과 대응, 적응이 가능케 할 수 있었던 것은 수문, 기상을 포함한 환경, 기후변화 등의 다양한 수자원 데이터의 수집과 이를 처리하는 기술의 발달이라고 해도 과언은 아닐 것이다. 즉, 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅을 이용한 수자원 관리로 얻을 수 있는 다양한 가치 중 가장 중요한 것은 재난 위험의 예측과 대응 능력의 강화, 그리고 시민의 생명과 재산을 보호하는 것이라고 할 수 있다.

수문 및 기상 자료의 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅의 연계와 활용은 재난 취약 요인 분석과 사전대비와 예방사업에 도움을 줄 수 있다. 재난 발생 시 예보 발령 및 유관기관과의 효율적인 업무공유를 통해 신속한 대처가 가능하게 해주고, 응급구조 및 재난복구의 지원활동을 위한 의사결정과 자연재난 관리 개선과 방재기술의 개발 등 정책수립을 위한 자료로도 활용이 가능할 것이다. 또한, 국가에서 운영하는 통합적인 위험·재난관리시스템을 통한 다른 분야와의 융합 분석으로 종합적인 국가적 위험을 사전 예측하고 대응방안을 모색하는 데 중요한 역할을 할 수 있을 것이다. 이런 측면에서 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅 기술은 좁게는 다양한 수자원 정보를 관리하는 것은 물론 넓게는 관련 정보들과의 연계 분석을 통해 재난의 발생 예측 및 대응 능력을 강화할 수 있는 새로운 방안이 될 수 있을 것이다.

5.3 물 환경과 생태계 관리 방안 마련

국가의 경제수준 및 국민의 생활수준 향상은 하천과 호수의 수질강화를 요구하고 있으며, 수생태계의 보전과 복원을 요구하고 있다. 또한 최근 들어 여가생활을 위한 수변공간은 도시의 기본요구사항으로 도시건설에서 필수적으로 조성되고 있다. 여기에, 최근 기후변화 등으로 물 관련 정책 및 산업 등은 홍수와 가뭄 등을 포함하는 이·치수 분야와 수변 생태계와 수질관리, 하천복원 및 하천공간 활용 등의 통합적인 물 순환 관리 및 유역 종합개발과 활용 영역 등이 물 산업의 주요 부분으로 부상 하면서(Lee et al., 2013), 하천 환경과 생태계 보전 및 복원에 대한 관심과 이를 위한 다양한 데이터의 활용 및 적용은 크게 높아지고 있다.

과거 이·치수 중심이었던 수자원 관리 및 이용 방식은 하천정비 및 시설물 등 구조적 접근 방식이 대부분이었다. 하천 환경 보전 및 복원 등 환경적인 측면을 고려한 비구조적 접근은 제대로 이루어지지 않았다. 그러나 최근 물 관련 정

책 및 산업 등은 홍수와 가뭄 등을 포함하는 이·치수 분야와 수변 생태계와 수질관리, 하천복원 및 하천공간 활용 등의 통합적인 물 순환 관리 및 유역 종합개발이 이루어지면서 비구조적인 접근방식이 주목받고 있다(Lee et al., 2013).

국외의 경우 수위와 식생에 대한 모니터링 데이터베이스를 통해 여러 수위변동 시나리오에 따른 식물 군집변화를 분석하고 이를 하천이나 습지관리에 활용하고 있다. 그러나 아직까지 국내의 경우 수위에 따라 서식하는 식생을 정리하는 수준에 그치고 있는 실정이었다(Kim, 2015).

하천 환경 및 생태계에 대한 관심의 증가와 친수적 기능 등 새로운 물 이용에 대한 수요자들의 요구가 늘어나면서, 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅, 사물인터넷(IoT; Internet of Things) 등 IT 기술과의 융합은 풍부한 물 환경 정보의 수집뿐만 아니라 실시간으로도 제공할 수 있을 것이다. 빅 데이터는 환경 및 생태계 분야에서 방대한 양의 데이터 분석을 통해 일정 패턴을 도출하고, 향후의 상황을 예측하는 메커니즘으로 유용하게 활용되고 있어, 이러한 사항에 가장 두드러진 성과를 보이는 분야이기도 하다(BDT Insights, 2014). 빅 데이터의 적용을 통해 하천 및 호소 등의 수질을 개선하고, 최적의 보전 및 복원공법을 도출할 수 있다. 그리고 동·식물상을 유지하는 활동에 빅 데이터의 접목은 현실적이고 효율적인 하천 환경 및 생태계의 관리라는 목표에 접근할 수 있는 수단이 된다.

강과 하구에 대한 실시간 모니터링의 경우, 기상 예측과 마찬가지로 하천의 환경 및 생태계 변화도 예측할 수 있다. 수집된 실시간 정보를 다른 환경 및 기상과 같은 관련 데이터와 결합하여 분석하고, 데이터의 실시간 분석을 통합함으로써 주요한 환경 및 생태학적 문제에 대한 이해를 증진시킬 수 있다. 예를 들면, 철새들에게 센서를 부착해 이동경로 등 수집된 방대한 데이터를 분석하고 향후 도착지역에 대한 철새의 서식을 돕는 방안 등 생물의 종을 지키는데도 활용할 수 있을 것이다(BDT Insights, 2014). 국내에서도 야생동물의 위치를 실시간으로 추적 할 수 있는 추적기를 개발하고, 이를 통해 세계적인 멸종위기종의 이동경로연구 등 이동생태 연구와 서식지 보존 연구에 활용하고 있다(Korean Association of surveying & mapping, 2013). 이렇듯, 최근 정보통신기술(ICT)의 발달과 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅의 활용, 사물인터넷의 개념 도입을 통한 자료의 실시간 수집 및 분석 기술은 하천 환경 변화 및 생태계, 생물다양성 연구에서도 다양한 시도 및 변화를 불러오고 있다. 하천 환경 및 생태계 데이터의 실시간 수집 및 분석, 이를 다른 수자원 정보와의 연계하는 방안은 서로 다른 분야의 연구자 및 기술자들이 중요한 정보를 생산할 수 있게 하며, 이를 공공데이터로 활용함으로써 새로운 공공가치를 제공해 줄 수 있을 것이다.

5.4 기후변화 영향 및 적응 역량 강화

기상과 기후변화에 대한 다양한 관심 및 수요가 증가함에 따라 자료의 활용도 및 파급효과는 점차 커지고 있다. 세

계 경제의 80%가 이러한 기상변화의 직접 혹은 간접적으로 영향을 받고 있다(Bae, 2006). 특히 수자원 분야는 그 특성상 사업의 규모가 크고, 수자원 정책은 인간의 생명과 재산에 직접적으로 연관되어 있어 자료가 가지는 불확실성은 필히 고려되어야 한다(Lee, 2011). 기후변화는 인간 뿐만 아니라 생태계에도 큰 영향을 미친다. 오히려 생태계가 기후변화에 더 민감하다고 할 수 있다(Kim, 2011). 이러한 이유로 기상 및 기후변화 자료의 분석과 이를 통한 미래 기후 전망, 산업 및 보험, 보건, 환경, 생태, 건설 등 다른 분야와의 융합을 통한 새로운 가치의 창출의 시도가 늘어나고 있다. 기후변화는 빅 데이터와 관련된 연구 및 산업에서 중요한 이슈 중 하나이고, 국내에서도 미래 정부 전략 및 정책개발 등을 위해 다양한 분야에서 연구가 수행 중에 있다. 빅 데이터가 대용량 데이터를 획득, 저장, 분석해 가치있는 정보와 스토리를 추출해 의사결정이나 미래 예측에 활용할 수 있다는 장점으로 인하여, 최근에는 기상 및 기후변화 데이터를 활용한 기상 이변, 재난, 질병 등 미래 예측을 통한 기후변화 적응 대책에도 활용되기 시작했다.

실제 국외에서는 과거 기후정보 등을 이용하여 기후보험의 개발 및 판매를 하고 있다. 또한, 기후예측 및 재난 대응 실시간 네트워크 시스템 구축 등 기상 및 기후 빅 데이터의 공공분야 활용 또한 확대해 나가고 있다. 기상 및 기후변화 데이터는 타 공공정보와는 달리 개인정보 보호와 상충되지 않아 빅 데이터로서 충분히 활용할 수 있다. 기상 및 기후변화 빅 데이터를 활용하면 기후변화로 인한 물적·인적 피해에 선제적·능동적으로 대응할 수 있으며, 공공기관의 빅 데이터 대표모델로도 충분히 활용가능하다는 장점이 있다. 이러한 이유로 국내에서도 기상 및 기후변화 데이터는 빅 데이터로서 활용가치를 높게 평가하고 정부 3.0과 연계하여 기상기후 데이터의 공개 및 기상특보, 태풍정보(도달시간 예측), 국지성 집중 강우, 폭설 등에 대한 사전 예측과 실시간 대응 체계 마련 등에 빅 데이터를 활용하고 있다(Korea Meteorological Industry Promotion Agency, 2011).

이처럼, 기후변화에 따른 수자원 정보 관리에 있어 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅은 미래 수자원의 영향 평가와 예측, 적응 전략의 수립 등에 적용될 수 있으며, 이를 바탕으로 효과적인 미래 수자원 정보 관리 및 시설물별 대응 및 방재 계획, 하천 환경 및 생태 계획 수립 등에 중요한 기초 자료로 활용이 가능하다. 기상과 기후변화, 이로 인한 기후변동은 어떤 방향으로든지 이수 또는 치수, 환경, 생태계 등 수자원 분야 및 이와 관련된 생활과 산업 전반에 큰 영향을 미치기에 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅을 통한 미래 기후변화 적응 전략은 향후 발생 가능한 비용 절감 및 경쟁력 확보 등에 유리하게 적용할 수 있을 것이다.

6. 결 론

수자원 정보를 다루는 공공기관을 포함한 다양한 기관에

서는 이미 수년 전부터 매일 수 테라(TB) 이상의 수자원 및 생태, 환경 데이터를 관측 및 저장하고, 이를 분석 및 처리를 하고 있기에, 사실상 예전부터 빅 데이터를 다루어 왔다고 볼 수 있으며 빅 데이터가 새로운 개념은 아닐 것이다. 하지만, 오늘날 수자원 정보 관리에서 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅을 효율적이고 현실적으로 활용하기 위해서는 이전과 다른 사항을 구분할 필요가 있다. 우선은 모든 정보의 형태가 데이터화되어 실시간으로 생산 및 제공되고 있다는 점이다. 그리고 이러한 데이터들은 정형 데이터도 포함하고 있지만 상당수가 비정형 데이터라는 것이다. 또한, 빅 데이터 및 클라우드 컴퓨팅을 위한 분석 기술과 기법의 발달로 과거와는 비교할 수 없는 수준으로 정확하고 신속하게 가치 있는 정보를 끌어낼 수 있다는 점이다.

빅데이터 및 클라우드 컴퓨팅을 통해 수자원 정보 관리 분야에서 이끌어 낼 수 있는 효과는 다음과 같다. 기존의 정형 데이터에서 벗어난 비정형 데이터의 추가적인 활용은 가치 있는 새로운 정보를 도출할 수 있으며, 수자원 계획수립 및 의사결정에 있어 다양하고 현명한 상황판단을 할 수 있게 해준다. 또한, 실시간 수자원 정보 데이터 수집 및 분석이 가능하게 되어, 웹이나 스마트기기를 통한 수자원 정보의 실시간 공유가 가능함으로써 관련 업무담당자 및 시민들에게 빠른 의사결정을 내릴 수 있도록 해준다. 수문, 기상, 재해, 수질 및 생태, 그리고 최근에는 기후변화까지 수자원 정보 관리에는 폭 넓고 다양한 분야가 존재하기에 활용 및 제공, 그리고 융합을 통해 재생산이 가능한 데이터도 매우 다양하다. 이러한 측면에서 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅 기술의 활용은 각 분야별로 사용자가 원하는 자료의 제공에 노력을 집중할 수 있다. 빅 데이터 및 클라우드 컴퓨팅을 통해 공통된 수자원 정보 데이터와 함께 공급자가 가치를 두고 있는 부가 데이터를 연계함으로써 차별화된 정보의 생산 및 제공이 가능하다. 수자원 정보 관리에서 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅을 통해 현실적이고 효율적인 가치를 이끌어 내기 위해서는 제공자와 수요자, 그리고 수자원 정보 관리에서 분야별 전문가의 협력이 필요하다. 그리고 수요자의 요구 사항을 파악하고 수요자가 현실적으로 활용이 가능하도록 시스템 인프라와 데이터 수집, 분석 방법 등이 결정되어야 한다. 결국, 앞으로의 수자원 관리 방안은 공공기관 및 관련기업들이 향후 정부의 제도 및 정책, 변화하는 수요자의 요구사항, 기후변화에 따른 수문·기상 및 생태의 변화 등을 종합적으로 이해해야 한다. 이를 위해서 효과적인 정보의 수집과 분석 능력이 필요할 것이다.

이러한 측면에서 본다면 수자원 정보 관리 분야에서 빅 데이터는 아직 도입 초기단계에 가깝다고 할 수 있다. ‘빅 데이터의 현실적인 이용’(IBM, 2012) 보고서에 따르면 빅 데이터 도입 초기에는 주로 내부 데이터를 수집하여 분석하는데 집중하며, 빅 데이터의 주요 원천이 기관 내에서 보유하고 있는 내부 데이터라고 언급하고 있다(IBM, 2012). 수자원 정보 관리 분야에서도 마찬가지로 관련 기관의 특성에 맞게 수집, 통합, 정형화 및 비정형화, 표준화된 내부데이

터가 존재한다. 이러한 내부 데이터들은 기관들이 가장 잘 파악하고 있는 익숙한 데이터이기에 내부 정보들을 적극적으로 활용하는 것이 효율적이다 할 수 있다. 이를 위해서는 제공자와 수요자, 그리고 수자원 정보 관리에서 분야별 전문가의 협력이 필요할 것이다. 그리고 수요자의 요구 사항을 파악하고 수요자가 현실적으로 활용이 가능하도록 시스템 기반과 데이터 수집, 분석 방법 등도 결정되어야 한다.

앞으로의 수자원 관리는 공공기관 및 관련기업들이 향후 정부의 수자원 정책 및 제도, 변화하는 수요자의 요구사항, 기후변화에 따른 수문·기상 및 생태의 변화 등을 종합적으로 이해해야 한다. 이를 위해서 효과적인 수자원 정보의 수집과 분석, 제공 능력이 필요할 것이다. 수자원 정보를 다루고 이를 이용하는 모든 기관들이 빅 데이터 활용을 위한 기술과 능력을 갖추어야 하는 것은 아니다. 그러나 수자원과 관련된 정보, 기술, 분석을 이용할 기회와 상황은 다양한 분야에서 어느 정도 존재하고 있음을 염두하고, 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅을 효율적이고 현실적으로 활용할 수 있도록 준비를 해야 할 것이다. 기존 및 새로운 수자원 정보의 크기(Volume), 속도(Velocity), 다양성(Variety) 등의 빅 데이터와 클라우드 컴퓨팅 적용을 통한 인명과 재산의 보호 등 공공의 목적, 물 관리 및 재난의 예방과 대응에 필요한 정확한(Veracity) 정보의 생산, 그리고 다른 분야와의 융합 등에 적극적으로 활용함으로써 수자원 정보의 가치(Value)를 높여야 할 것이다.

사 사

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(15AWMP-B079625-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bae, IS. (2006). Weather Dominates, Planet Media. [Korean Literature]
- BDT Insights. (2014). Cutting edge Environment Protector 'Big Data'. <http://www.bdtinsights.com/kr/>
- IBM (2012), Analysis: The real advantage of Big Data, IBM Institute for Business Value [Korean Literature]
- IDC Digital Universe Study: extracting value from chaos, <http://www.emc.com/collateral/demos/microsites/emc-digital-universe-2011/index.htm>
- Kang, TG., Lee, Y., Hong, YS., Jung, SW. (2012). Analysis of River Environment Management in China and Cooperation Method between Korea and China. Korea Institute for International Economic Policy and Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Kim, DP. and Lee, NH. (2010). The Hydrological Characteristics Analysis on the Seolma-Cheon Experimental Catchment. *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference*. [Korean Literature]
- Kim, HK. (2012). Social Issues and Big Data Strategy of Korea. *The 3rd National Strategy Forum of Big Data*, National Information Society Agency, pp. 7-19. [Korean Literature]
- Kim, JH. (2004). Water Resources Policy of Japan. *Magazine of Korea Water Resources Association*, 37(6), pp. 55-69. [Korean Literature]
- Kim, JW. (2015). Analysis of relationship between inundation depth of flow duration and plant habitat - A case study on Binae wetland-. *Thesis for Master's Degree*, Inha University. [Korean Literature]
- Kim, SJ. (2011). Impact of Climate Change on Water Resources and Ecological Habitat in A River Basin. *Ph.D. dissertation*, Inha University. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration. (2013). Meteorological Technology & Policy, 6(2). [Korean Literature]
- KT Economic Management Institute (2012) Big Data Recent global trends and issues. [Korean Literature]
- Lee, JS. and Kim, JW. (2013). Creative Economy and Water Industry. Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning. [Korean Literature]
- Lee, KH. (2011). Estimation of Expected Flood Damage considering Uncertainty and Under Climate Change. *Ph.D. dissertation*, Inha University. [Korean Literature]
- National Information Society Agency (2013). Data analysis for a better future: Global Best Practices of Big Data II. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research. (2012). Research of Development for Automatic Water Quality Monitoring Network Data Open System and Real-Time Monitoring Method, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Park, MJ. (2006). Flood Forecast System of America. *Magazine of Korea Water Resources Association*, 39(7), pp. 47-54. [Korean Literature]
- Park, SJ. (2011). International Water Policy Trends and Implications. *Water Journal*. [Korean Literature]
- Shim, MP. (2006). Survival Conditions in 21st Century. *Magazine of Korea Water Resources Association*, 39(6), pp. 61-63. [Korean Literature]
- TDWI Reserach (2011). Big data analytics Report [Korean Literature]
- Water Resources Management Office. (2007). Case of Integrated Watershed Management in Korea. K-Water. [Korean Literature]
- Wikipedia, <http://ko.wikipedia.org/wiki/>
- Yoo, Grace. (2013). The role of the Researcher in Big Data Era. TNS Consult.