

## 수문학의 르네상스



허용구

Agricultural and Biological  
Engineering Department  
/ Tropical Research and  
Education Center, Institute of  
Food and Agricultural Sciences,  
University of Florida,  
yher@ufl.edu

본 원고는 Vincent Gabrielle가 2019년 3월 28일 Eos, 100에 출판한 The Renaissance of Hydrology를 소개하기 위해 작성되었다. (Gabrielle, V. (2019), The renaissance of hydrology, Eos, 100, <https://doi.org/10.1029/2019EO119179>. Published on 28 March 2019). 원저작물은 20세기 수문학의 초기역사를 개괄하고 현대수문학의 발전 방향을 전망하고 있어, 물관련 연구를 하는 학생과 학자들에게 수문학에 대한 전체적인 연구흐름을 되짚어 보는 기회를 줄 것으로 판단하여 전원과 자원에 번역본을 기고하기로 하였다. 본 원저작물의 소개가 수문학 및 관련연구에 종사하는 연구원들이 연구 주제를 설정하고 연구 방법을 개발하는데 영감을 줄 수 있기를 기대한다.

### Vincent Gabrielle, 28 March 2019

지난 50년동안 수문학의 이론과 적용 그리고 다학제간 협력에 급격한 발전이 있어왔다. 위성지형탐사자료, 실시간기상원격관측, 계산기술의 발달은 자료가 풍부한 수문연구환경을 조성했고, 이런 새로운 환경은 수문연구를 수행하고 적용하는 방법을 빠르게 바꾸어 가고 있다.

수문학적 발전은 이런 급격한 기술적인 발전 뿐만 아니라 문화적인 변화에 기인한 면도 있다. 수문학적 연구의 범위와 관점은 지속적으로 넓어지고 진보하여 왔다. 수자원분야에서는 더 이상 개별 유역의 유량만이 관심사가 되지 않을 뿐더러 중앙 관리자로 부터의 하향식 접근방법도 작동되지 않는다. 수량과 수질 문제를 기작과 기저요인에 대한 고찰없이 충분히 다룰 수 있다고 생각하지도 않는다.

세계은행에서 수자원분석가로 일하고 있는 Winston Yu는 “수문학과 다른 학문 분야와의 접점에서 르네상스가 있어왔다”고 말하며, 지금 수문학은 생태, 경제, 그리고 정치적인 문제와 밀접하게 관련되어 있다고 평가한다. 그는 또한 현대의 수문학은 식물과 지형을 수문 순환과 수질에 영향을 주는 중요한 인자로 인식하고 있고 있으며, 인간의 활동 또한 더 이상 수문순환의 외부요인으로 여기지 않는다고 주장한다. 그는 “지금 수문학의 여러 분야에서 수없이 많은 일들이 일어나고 있다”고 진단한다.

### 국제 수문학 10년(International Hydrological Decade: IHD)

이러한 수문학의 변화는 서로 다른 분야들과의 교류하는 과정에서 있어왔다. 새로운 기술은 새로운 사고방식을 가능하게 하였고, 기존의 수문학적 인식 체계에 대한 비판과 사회적인 요구는 새로운 연구와 발상의 계기가 되었다. 이러한 비판과 요구가 어떠한 큰 변화를 일으켰던 사건의 시간과 공간을 쉽게 특정할 수 있지는 않지만, 1962년 그리스에 있는 작은 바는 이러한 순간들 중 하나라고 할 수 있다.

국제수문과학협회는 그리스 아테네에서 건조지역의 지하수에 대한 심포지움을 열고 있었다. 그 심포지움에서 미국 지질조사국에서 일하는 수문학자 Raymond Nace는 국제수문과학협회 총무인 Leon Tison에게 다가가 야심찬 10년 짜리 국제수문 연구계획을 제안했다. 해당 계획은 1957년과 1958년의 국제지구물리학회 성공을 모범삼아, 수문학에서 종적 (또는 지구축에 따른) 연구, 전지구적 규모의 자료 수집, 그리고 새로운 교육 계획을 제안하

고, 경제 및 환경적인 고려사항을 수문순환에 대한 표준모형에 통합하려고 하였다. 심포지움 진행 때문에 바쁘고 영어도 썩 잘 하지는 못했던 Tison은 Nace를 UNESCO 과학담당관 Batisse에게 데려간다. UNESCO 건조지역 프로젝트에 참여한 적 있는 Batisse는 Nace의 제안에 동의했다.

Battise는 나중에 그의 저서 “The Unesco Water Adventure From desert to water... 1948 - 1974” 에서 “야심찬 생각과 관점을 가지고 있는 현실성 있는 국제 프로그램을 만드는 것은 흥미로우면서도 실현가능하다고도 생각했다”고 당시의 상황을 회상했다. Batisse가 Nace에게 UNESCO 운영위원회의 지원을 받기 위해서 어떻게 해야 하는지에 대한 의견을 주고 들은 바로 헤어졌다. Batisse는 그 때 Nace의 계획을 격려했다기 보다는 UNESCO의 관료주의를 지적함으로써 오히려 Nace에게 겁을 줬다는 생각이 들었다고 나중에 회고 했다.

나중에 Nace의 제안은 물 분야의 전세계 과학자들이 협력하는데 큰 힘이 되었던 수문학 분야에서 중요한 계획인 “국제 수문학 10년”의 기초가 되었다. 1960년대의 시대상황에서 그러한 포부의 제안을 상상하기란 쉽지 않다. 오늘날 국제규모의 과학 관련 회의는 과거에 비해서 흔하고, 물관련 주제가 중심이 되는 경우가 많다. 그러나, “국제 수문학 10년”은 국제 과학 공동체가 냉전에 의해 분열되어 있던 때에 제안되었고, 동구와 서구권 연합의 과학자들 사이의 협력은 허락되지 않았었다.

### 현대 수문학의 탄생

큰 맥락에서 보면 “국제 수문학 10년”이 제안된

때에는, 수문학이 별개의 학문 분야로서는 아직 걸음마 단계였다고 할 수 있다. 비록 물이 수천동 동안 철학적인 질문의 주제가 되어왔고, 물관련 사회기반시설은 문명이 시작될때 부터 존재해 왔지만, 수문학은 상대적으로 최근에 발전했다.

Nace가 “국제 수문학 10년”을 제안하던 시기에 수문학은 미국에서 약 30년 동안 공식적인 학문으로 존재해 왔다. 수문학은 1931년 미국 수문학의 아버지 Robert Horton이 그의 저서에서 수문순환에 대한 전체적 윤곽을 제시하면서 별개의 학문 분야로 분리되어 나왔다. 당시에 Horton은 수문학적 용어와 이해가 농학과 공학 등의 다른 많은 학문분야에 널리 사용되고 있음을 알고 있었다. 미국육군 공병단에서 은퇴한 역사학자 Martin Reuss는 “수문학자들은 여러 분야로 쪼개지기 보다는 그들 스스로를 지질학의 한 분야나 또는 생물학 등의 새로운 학문분야로 섞여 들어가게 했다”고 회고한다.

이러한 수문학의 탄생은 물관련 사회기반시설이 많이 개발되던 시대와 같이한다. 물은 측정되고 관리되어야할 자원으로 빠르게 인식되어 가고 있었다. 지질학자 William McGee는 1911년에 “흔히 쓰이는 측정단위조차 없었던 시절에 물에 대한 정략적인 접근은 매우 새로운 것이었다”라고 평가했다. 의회에서 관련 법률이 제정되면서 미국 개척국과 육군공병단과 같은 연방기관들은 관개, 홍수조절, 수력발전 및 수로운항과 같은 물관련 개발사업을 미국 전역에 걸쳐 진행하였다. Nevada주와 Arizona주 사이의 경계를 따라 흐르는 Colorado 강에 건설된 Hoover댐과 같은 수자원계획은 그 자체로 하나의 기념비가 되었다.

이러한 거대 물관련 사회기반시설의 건설에 사

회와 환경적인 비용이 들지 않았던 것은 아니었다. 비록 이러한 건설 프로젝트들 중 많은 것들이 “보전”을 위해 지어졌지만, “보전”의 의미는 지금의 뜻과는 다소 다르게 쓰였으며, 생태적인 피해는 고려되지 않았다. 1929년 미국 대통령 Herbert Hoover는 연설에서 “진정한 수자원의 보전은 사용을 하지 않는 것이 아니다”고 주장하며, “국가에 최대한의 혜택을 주지 않고 바다로 흘러 들어가 버리는 개개의 물방울은 경제적인 낭비일 뿐”이라고 역설한다. 정부 당국은 North Dakota에 Garrison댐이 지어질 때 수반되었던 대규모 원주민이 이동과 같은 사회적인 비용을 무시했다. 이러한 물관련 사회기반시설의 비용-편익 분석은 종종 일관되지 않았고 오류가 있었으며, 프로젝트를 비교하거나 프로젝트의 목적을 충족시켰는지 검증하기는 어려웠다.

당시 수문학이 관측 및 자료의 측면에서 기술적인 발전을 해왔지만, 연구방법과 접근법은 아직 제한적이었고, 기상현상의 시간에 따른 변화, 유역의 지형 및 토양의 특성은 고려할 수 없었다.

미국지질조사국의 수석 수문학자였던 Luna Leopold는 측정기술의 발전에도 불구하고 수자원 관리를 위한 유용하고 일반적인 방법론과 기술이 부족하다는 점을 애석하게 생각하였다. 1959년 그는 “우리 엔지니어와 과학자들은 아직도 수자원 개발의 기계적인 복잡성을 다루는데 스퀴루드라이버나 파이프용 렌치같은 툴을 사용하고 있다”고 안타까워 했다.

## 수문학 재정의와 공공재

물관련 사회기반시설, 물 사용 및 공공재에 대

한 포괄적인 이해 사이에 있는 갈등에 대한 사회적인 의식과 관심이 증가하고 있다. Leopold와 Nace가 함께 쓴 글에서 이들은 국토지킴이로서의 정부와 개발자로서의 정부 사이에 존재하는 갈등을 다음과 같이 분석했다. “근본적인 문제는 보호와 개발에 대한 전통적인 개념이 성숙된 사회의 땅과 물 문제의 복잡성에 비해 너무 단순하고 순진하다는데 있다. 따라서 엄격하게 공학적인 접근법이 이러한 문제들을 해결하는데 사용되어 왔고 앞으로도 계속 그래야 한다.”

이러한 종류의 비판이 가득한 사회분위기에서, 정치과학자, 수문학자 및 경제학자는, 사람들의 건강과 공동체에 피해를 주지않으면서 어떻게 이러한 수자원 개발프로젝트를 수행해 나갈 것인지, 어떻게 프로젝트의 완료 및 진행 여부를 판단할 수 있는지, 또는 이러한 프로젝트의 장기적인 비용은 얼마나 되는지, 등의 문제들을 고려하기 시작했다. Nace와 Leopold는 이러한 문제들에 대한 답을 하기 위한 해야 할 첫 번째 단계는 공익을 결정하는 기준을 재평가하는 것이라고 주장했다.

제기된 물 문제들에 대한 응답으로, Harvard 물 프로그램이 1950년대에 등장했다. 정치과학자들과 육군공병단의 평론가였던 Arthur Maass는 수문학, 경제학, 사회학, 공학 및 당시 새로운 학문 분야였던 컴퓨터 과학을 하나의 학문으로 융합하기 위한 프로그램을 주도했다. 이 프로그램은 수자원 개발계획의 모든 목적을 현실적인 방법으로 다루어 보고자 했다. 역사학자 Reuss는 “컴퓨터 모형의 결과는 수자원 개발에 보다 상식적인 면을 가미하기 위해서는 모든 것들이 정치적인 영역에서 처리되어야 하는 것으로 나왔다”고 말했다. 이러한 다학제 수문프로그램은 다학제 자원관

리계획의 원형이 되었고, 후에 육군공병단의 실행 계획에 포함되었다.

Nace 또한 수문학에서 이러한 현대 다학제 연구의 필요성을 인식하였다. 1964년에 출판된 “국제 수문학 10년”의 필요성을 주장하는 글에서, 그는 수문학을 “느림보 과학”이라고 불렀다. 그는 기초과학연구, 제한된 관점의 수문학 교육, 그리고 분화되어버린 수문학 연구분야에 대한 문제보다 대규모 공학 사업이 지나치게 강조되고 조명받고 있다는 점을 지적했다. 수문학의 통합과 융합 그리고 수문학에 대한 관심이 절실히 필요한 시기였다. Nace는 “풍요와 공학적 기술만으로는 충분하지 않다. 수문학과 수자원 관리에는 새로운 개념이 필요하다”고 주장했다.

## 국제적인 노력

미국에서는 연구방법의 통합만이 수문학의 유일한 문제는 아니었다. Nace는 “물과 과학 어떤 것도 지리적인 경계를 고려하지 않았다”고 지적했다. 수문순환은 전지구적이라서, 물에 대한 과학은 이러한 특징을 염두에 두어야 했다.

그리스 아테네에서 Batisse를 만나고 한 달 후, Nace의 제안은 UNESCO의 공식 집행이사회에 소개되었다. 국제기구의 관료주의는 Nace의 제안이 받아들여지는데에 전혀 방해가 되지 않았다. Nace의 제안은 과학 공동체의 지지를 빠르게 얻어 갔지만, 제안을 조직화 하는데는 큰 노력이 필요했다. Nace, Leopold 및 Batisse는 구소련의 타쉬켄트 (현재 우즈베키스탄의 수도)로 가서, 소련 수문학 단체의 협조를 구했다. 소련을 포함한 90여 유엔 회원국의 지지와 2년간의 협상 끝에 “국제

수문학 10년”은 1965년에 시작할 수 있었다.

10년 이상 전지구적 규모의 물연구를 위한 네트워크를 구축하기 위해서 전세계로 부터 온 수백명의 과학자들이 서로 협력했다. 참여하는 수문학자들은 인류는 얼마나 많은 물을 가지고 있는지, 이러한 물은 언제 어디에 분포되어 있는지 등의 기본적인 질문들에 대한 답을 찾기 위해 노력했다. 또한 Nace가 제안한 프로그램은 과거에 고려되지 않았던 인간의 이주, 수질문제 및 물과 관련한 정치문제 등의 사회적인 관점을 포함했으며, 사람들에게 가뭄뿐만 아니라 홍수에 대한 교육도 시행하였다. 대부분의 유엔 가입국의 유역경계가 지도에 표시되었고, 도시화의 유출과 유사에 대한 영향도 측정되고 평가되었다. 과학자들은 수문학을 하나의 학문 분야로 격상시켰고, 대학에서 수문학 프로그램을 설치하도록 장려했다. “국제 수문학 10년”의 중요 기여자 중의 하나인 Walter Langbein은 영향력 있는 다제학 학회지인 Water Resources Research를 창간했고, 이는 AGU에 의해 출판되었다.

### “국제 수문학 10년”의 오랜 유산

현대 수문학이 누리고 있는 풍부한 자료는 “국제 수문학 10년”의 근본적인 노력 덕분이다.

UNESCO “국제 수문학 10년”의 정부간 평의회 의 부의장, Andras Zollosi-Nagy는 Eos에 보낸 이메일에서 “국제 수문학 10년은 과학으로서의 수문학의 기초를 놓았다고 평가하고, 이러한 평가가 과장으로 들리지 않기를 바란다”라고 “국제 수문학 10년”을 가치를 재조명했다.

자료, 모니터링 지점들, 그리고 전지구적 수자원 지도 제작은 컴퓨터 모델링과 위성영상 자료를 통합하는 최근 수문학적 연구의 기초가 되었다. 수문연구프로그램, 수문관련 과학협회, 연구부서 및 학술지의 급격한 증가 또한 수문학의 성장을 촉진했다. Georgia Tech의 학장이자 수문학자인 Rafael Bras는 “우리가 가지고 있는 자료가 수문학이 전지구적 규모에서 역할을 했다는 점을 부인할 수 없게 한다”고 언급하며, 정보기술은 물과 관련된 상황 및 시공간적 복잡성을 들여다 볼 수 있게 해주었다고 지적했다. 지금 우리는 이러한 수문순환과정을 거의 실시간으로 지켜볼 수 있으며, 그는 “이건 거의 혁명적이다”라고 평가한다. 오늘날 수문학자들은 화재, 가뭄, 식물군락, 그리고 도시화가 어떻게 유역에 영향을 미치는지 등의 어려운 문제들을 살펴보고 있다.

University of California, Santa Barbara에서 수문학 부교수로 있는 Christina Tague는 “우리는 식물 피복을 파악하기 위한 원격탐사에 능숙하지만, 시간에 따른 식물의 적응을 살펴보는 않았다”고 지적한다. 그녀는 식물이 매년 조금씩 가뭄에 적응하고 이러한 적응과정은 시간과 장소 그리고 종에 따라서 크게 다르다고 설명한다. 이러한 적응과정을 모의할 수 있는 모형을 개발하는 것은 꼭 필요한 도전이며, 수문, 식물, 그리고 화재 간의 상호작용에 대한 실제적인 이해없이는 화재를 경감하거나 수자원을 관리하기 어렵다. Tague는 “상호작용을 하나의 시스템으로 여기지 않으면 이러한 상호작용을 제대로 이해할 수 없다”고 시스템적인 접근의 중요성을 역설한다.

이러한 시스템적이고 다제학적인 접근법은 전세계의 수문학 대학원 프로그램의 일부가 되어

왔다. 생태학자, 정치과학자, 지질학자 그리고 공학자들은 차세대 수문학자를 교육하기 위해 노력하고 있다. 수문학 발전을 위해 조직된 대학 협력단과 같은 단체들은 다학제 교육 프로그램을 후원하고 대학원생과 다양한 프로그램의 연구자사이에서 가교역할을 하고 있다. University of Nevada, Reno의 수문학 교수인 Scott Tyler는 “AGU 회의에 가서 보면, 초기경력 과학자들이 하고 있는 연구가 굉장히 폭넓고, 내가 공부할 때 보다 훨씬 흥미롭다는 것을 발견하게 된다”고 말한다. 또한 그는 “수문학 분야의 모든 속제는 다른 학문 분야에도 있으며, 어떻게 다른 분야의 관점과 이론을 물문제에 적용할 것인가를 고민해야 한다”고 주장한다. University of Illinois at Urbana-Champaign의 토목 환경 공학 교수인 Murugesu Sivapalan은 수문학자의 역할과 같이 설명한다. “방에 한마리의 코끼리가 있다. 하지만, 직접적인 변화는 인간이 만든다.”

수문학은 토양, 피복, 지형을 이루는 경관에서 인간의 활동에 대한 광범위한 연구를 포함한다. 예를 들어, North Dakota의 Garrison 댐 건설과정에서 Mandan, Hidatsa 그리고 Arikara 등의 원주민 부족들은 가지고 있던 대부분의 농업 지역을 몰수 당하고 어업과 관개를 위해서 저수지에 접근할 수도 없었다. 인간은 자연과정을 변화시킴으로써 우리의 필요를 충족하지만, 이러한 인위적인 자연과 문화의 변화가 가져오는 부정적인 결과는 장기적으로는 결국 우리에게 되돌아 온다고 Sivapalan은 경고한다. 예를 들어 제방을 쌓는 것은 강과 연안지역에 더 많은 사람이 살게 하므로써 궁극적으로는 홍수 위험을 오히려 증가시킨다. 물부족은 기상적인 원인만큼 종종 사회정치적인 원인에 의해 발생하기도 한다.

기후변화가 위협이 되는 상황에서, 물문제에 대한 체계적인 접근방식은 더 강조되어야 한다. 물은 식량과 위생, 운송 및 인간의 건강 유지에 꼭 필요하지만, 동시에 파괴적인 힘이 되기도 하며, 갈등의 소지가 되기도 한다. 물은 여러 다른 요소와 관련이 되어 있어, 우리가 물에 대해 이야기 할 때, 우리는 절대 물에 관련된 여러 주제 중에 한가지만을 이야기 하지 않는다. 학문 분야로서의 수문학은 많은 다른 학문 분야로부터 온 생각과 자료를 통합하기위해서 빠르게 진화하고 있다. 사회 및 환경적 이해관계가 어느때 보다 첨예한 급격한 기술발전 및 사회변화의 시대에서 물문제에 대한 견고하고 다제학적 접근법이 어느때 보다 중요하다.

—Vincent Gabrielle (@VincentDGabriel), Science Journalist

Citation: Gabrielle, V. (2019), The renaissance of hydrology, *Eos*, 100, <https://doi.org/10.1029/2019EO119179>. Published on 28 March 2019.