

USGS 지하수 연구정책 소개

염 병 우*

한국지질자원연구원 지하수지열연구부

USGS Groundwater Scientific Research Policy

Byoung-Woo Yum*

Groundwater & Geothermal Resources Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

ABSTRACT

This report is providing recent USGS policy on various ground-water research themes, which bears on i) USGS future policy within next decade, ii) recent ground-water science research topics, and iii) publication policy on ground-water modeling publication. USGS, an outstanding leading organization in the world geological sciences, has been taking higher priority on ecosystems and its changes than any other themes. This report will be helpful for us to compare our present status and to prepare future plan.

Key words : Ground water, Policy, USGS, Ecosystem

요 약 문

이 현장보고에서는 앞으로 10년간 수행될 USGS 연구정책의 방향과 USGS 수자원국의 지하수 분야의 테마, 생물국의 전략, 그리고 지하수 연구자들의 모델링 분야 보고서 표준화 노력에 대하여 다운사이징의 방법으로 소개하였다. USGS 는 생태계와 생태계 변화에 중점을 둔 연구를 최우선 주제로 제시하였으며, 지하수 분야는 특히 이 정책 주제의 중심에 있다고 할 수 있다. 이 소개를 통하여 우리 연구자들의 현재를 돌아보고 앞으로의 계획에 도움을 줄 수 있기를 기대 하는 바이다.

주제어 : 지하수, 연구정책, 미국지질조사소, 생태계

1. 서 언

USGS(U.S. Geological Survey; 미국지질조사소)는 지질, 토양, 생물, 수자원(지표수 및 지하수) 및 환경 분야를 연구하는 연구자들에게 가장 친숙한 이름 중 하나일 것이다. 크게 연방 정부 소속과 주 정부 소속으로 구분되는 USGS는 연 인원 10,000여명 그리고 일년 예산은 10억불에 육박하는 미국 내무성 소속의 기관이다. 주로 국가연구과제(NRP; National Research Project)를 수행하는 연방 정부 소속의 USGS 기구들은 동부, 중앙, 및 서부 센터에 집중되어 있으며, USGS 본부는 동부 센터와 더불어

버지니아주 레스틴에 위치한다. 본부에서는 앞서 말한 여러 분야에 대한 연구뿐만 아니라 미국 의회에 제출하는 각종 자료와 브리핑 제작 등이 이루어지며, USGS 전체의 장단기 정책 수립과 평가도 수행한다. 따라서 USGS의 연구정책 방향 및 흐름은 지하수 및 토양 분야의 연구자들에게 선진국인 미국의 장 단기간에 걸친 국가적인 경향을 확인하고 국내의 연구방향을 수립하는데 벤치마킹 자료로 매우 좋은 정보를 제공한다.

이 현장보고에서는 필자의 미국 연수 기간동안에 습득 하였던 정보와 자료를 바탕으로 USGS를 중심으로 한 미국의 지하수 연구정책에 대하여 소개하였다. 먼저 USGS

*Corresponding author : ybw@kigam.re.kr

원고접수일 : 2007. 8. 10 게재승인일 : 2007. 12. 21

질의 및 토의 : 2008. 2. 29 까지

기관 수준의 정책을 다루고, 지하수 분야의 연구자들이 소속된 수자원국에서의 지하수 학제 연구의 테마들, 그리고 마지막으로 지하수 모델링의 저작물 서술에 대한 연구자들의 자세 등에 대하여 다루었다.

2. 본 론

2.1. USGS 수준의 정책

USGS는 미국 정부가 정한 미국과 인류를 위한 우선 순위에 따라 능동적인 대처를 하기 위하여 정책방향을 주기적으로 돌아보고 최적화시켜왔다. 1990년대에 USGS과학의 목표와 우선 순위를 시험한 이래 처음으로 통합적인 과학정책을 돌아보는 보고서를 최근에 발간하였다(U.S. Geological Survey, 2007). USGS는 적절한 시기에 세계의 동향과 일치하는 이 같은 과학 정책을 개발하게 되었으며, 이 정책은 빠르게 진화하는 사회적 니즈를 만족시키기 위한 중요한 자연과학의 도전을 내포한다. 이 정책의 첫 번째 대전제로는 글로벌 경제의 출현은 모든 자원의 수요에 영향을 미친다는 것이다. 두 번째로는 지난 10년간의 변화로서 미국 연방정부 소유의 지역을 관리하는 새로운 모델, 즉 생태계를 근간으로 하는 관리기법의 출현을 목격하였다는 것이다.

미국 기후변화 과학 프로그램은 향후 수십 년간 미국과 전 세계 환경은 빠른 변화과정을 지켜보게 될 것이라고 예측하였다. 결론적으로 자연환경은 화산, 지진, 자연발생 산불, 홍수, 외래 생물 침입, 다양하고 변화무쌍한 기후조건 및 자연 상태/외부 유입 독성 물질, 그리고 동물로부터 기원한 질병의 형태로 인류와 인류 사회에 영향을 미치는 위험 요소를 지속적으로 내재하게 될 것이다. 글로벌 규모의 자연 자원의 이용과 경쟁은 결국 미국의 경제, 국가 안보, 삶의 질 그리고 자연환경을 유지시키는 지속가능한 능력에 영향을 줄 것이라고 예측하였다.

이러한 국가적인 우선 순위와 세계의 동향에 부응하기 위하여 현재의 USGS의 능력과 파트너십을 정립할 뿐 아니라 USGS 능력의 전체 깊이와 너비를 통합 완성할 수 있는 개혁을 요구하는 과학 정책이 필요하였다. 따라서 미국 국내외와 미국의 미래를 위한 중요한 도전으로 받아들여지는 사회적 이슈로부터 USGS 과학은 여기서 제시하는 방향으로 힘차게 전진할 것을 정하였다. 이 과학 정책에서 제기된 6개 과학의 방향은 다음과 같으며, 생태계 전략을 가장 앞세운 것은 이 분야가 두 가지 속성을 갖기 때문이다. 먼저 이 전략은 자체적으로 미국과 전 세계의 니즈를 추구하는 방향인 동시에 나머지 다섯 정책 방

향을 받쳐주는 기둥의 역할을 한다. 아울러 구체적인 실행을 위하여 생태계 시각과 도구가 반드시 필요하기 때문이다.

■ 생태계 이해 및 생태계 변화 예측: 미국 경제와 환경의 미래를 보장

- USGS는 여러 공동 연구자들과 함께 육상, 담수, 해안/해수 생태계에 대한 모니터링을 실시하여, 생태계 변화의 원인과 결과에 대하여 연구한다. 또한 생태계를 보전하고 관리하는 방법을 제공하며 정책입안자들에게 현재와 미래의 이러한 생태계 변화들이 자연자원 및 사회에 어떤 영향을 미칠 것인지에 대하여 설명하는 역할을 한다.

■ 기후 변화와 다양성: 명확한 기록과 결과를 평가

- USGS 과학자들은 미국 내무성, 즉 정책입안자와 자원관리자들에게 최신의 과학적 사실에 근거한 기후변화 예측과 영향에 대한 정보를 제공할 것이다. 기후와 시공간에 걸친 지표면에서 여러 과정들과 생태계 사이 상호작용에 대한 연구들은 직접적으로 미국의 기후변화과학프로그램의 정책 목표에 공헌할 것이다.

■ 미국의 미래를 위한 에너지와 광물자원: 자원 안보, 환경 보전, 경제 활성화 및 국토 관리의 근간을 공급

- USGS의 에너지와 광물자원 연구는 미래의 자원 안보, 자원이용에 따른 환경영향, 국가의 경제 활성화 및 자연자원의 관리에 대한 결정을 보다 이해 깊게 하는데 공헌하도록 확장될 예정이다. 포괄적이고 다양한 분야에 걸친 접근 방법은 에너지 및 광물자원의 사용 주기, 형성과정, 채취방법, 사용, 및 폐기물이 생태계, 기후 및 인류 건강에 미치는 영향을 이해하고 평가하는데 이용될 것이다.

■ 전국 자연재해, 위험도, 복원 평가 프로그램: 미국의 장기적인 보건과 복지 보장

- USGS는 현대적인 지구 관측네트워크로부터 정확하고 적절한 정보를 수집하며, 자연재해의 위험성이 있는 지역을 평가하고, 또한 재해 예측을 개선하기 위한 집중 연구를 수행한다. 뿐만 아니라 USGS는 국가공동체와 함께 도시와 생태계의 취약성을 평가하여 과학 정보들이 효과적으로 위험을 줄일 수 있도록 하고 있다.

■ 인류 건강과 관련한 환경과 야생 생물의 역할: 미국의 공공 보건/위생에 미치는 환경위험도를 인지하는 시스템

- 근본적으로 USGS는 공공위생에 관한 의사결정에 기

여할 수 있다. USGS는 동물 질병의 자연 보유고인 야생 생태를 모니터링하며 야생동물의 질병이 인간에게 전파되는 것(예, 조류독감), 식수오염, 공기-먼지-토양-퇴적물-암석 오염물, 휴양지의 병원균, 그리고 인체의 위생 감시자로서 야생동물을 이용한 지식을 수집/축적하고, 일반에게 제공한다.

■ 미국의 수자원 통계조사: 미국의 미래를 위한 담수자원의 정량화, 예측 및 안보 보장

- USGS는 (1) 변화하는 담수자원의 현재 상황, (2) 미래 인간/환경 및 야생 생태 필요성을 충족하는 물 사용의 매우 정확한 의사 결정, (3) 효과적인 담수의 이용을 위한 공학적 시스템 및 단순한 물의 이용뿐만 아니라 자연 저장 및 지표수/지하수 이동과의 관련성, (4) 인간/환경에 필수적인 담수를 공급할 수 있는 물의 기원 인지, 그리고 (5) 토지이용, 자연 및 인공 구조물, 물 사용 및 기후의 변화에 의해 유발되는 물의 이용가능성, 수질 및 수생태계의 건전성에 대한 예측 등에 대하여 공공과 정책입안자에게 정확한 정보를 제공하는 미국의 수자원 통계조사를 발전시킬 것이다.

여섯 가지의 테마는 향후 10년간 USGS를 받쳐주는 기둥의 역할을 할 것이며, 이 테마에는 USGS의 모든 영역이 포괄적으로 제시되지는 않았으나 향후 10년간의 정책의 방향을 제시하는 동시에 비전을 선포하는 형식이다.

2.2. USGS 수자원국의 정책 방향

USGS 수자원국은 지하수뿐 아니라 지표수의 관측과 연구를 총망라하는 대규모 조직을 지닌 부서이다. USGS 산하의 단일 부서이나, 예산과 운영을 위하여 독자적인 대외 활동을 활발히 전개하고 있다. 수자원국은 USGS의 현재의 위상을 점검하고 앞으로 나아갈 정책의 방향을 스스로 제시하고 있다. 수자원국에서는 매년 다양한 정책의 제안이 이루어지며, 여기서는 지하수 분야의 연구 분야에 한정하여 언급하였다. 이같은 수자원국의 정책 방향의 제시는 물론 USGS에서 제시한 대내외적인 전반적인 추진 정책을 근거로 한다. 그 중 “USGS 지하수 과학 학제 연구의 기회”라는 제목의 보고서는 최근의 지하수 관련 분야의 정책의 전환점이 될 수 있다(Sanford et al., 2006). 이 보고서는 USGS의 지하수 연구자에게 뿐 아니라 타 학문 분야의 연구자에게도 도움을 주고 학제간 연구를 증진키 위한 지침서 성격을 가진 것이다. 보고서에서는 지하수 연구의 학제간 연구의 6개의 기회와 내용을 주축으

로 서술하였으며, 각 분야에서의 주제와 현재의 진행상태, 그리고 연구의 기회에 대하여 언급하였다. USGS의 모든 분야를 포괄하는 통합형 연구 주제를 발췌하기 위하여 10여년간 준비한 것으로 USGS 내외부 인사가 대거 참여하였다. USGS 지하수 과학을 위한 Sanford et al.(2006) 보고서의 6가지 기회를 간략하게 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

2.2.1. 지질학과 지구물리학의 3D 도면

- 수리 모델링과 지질학적 모델의 통합된 3D 능력 배양 연구와 개발이 필요하다.
- 수리상수 값을 반영하는 지구물리학적 반응값 관계를 규명하는 능력과 수리 모델에 지구물리학 정보와 해석을 정량적으로 접목시키는 방안이 필요하다.
- 지하수 연구에 필요한 수학적 알고리즘, 시각화 프로그램 및 장비의 개선으로 귀결되는 지구물리학적 방법의 진보가 필요하다.
- 지하수 모델과 삼차원적인 지진 혹은 지구물리 자료/해석 연동과 같은 모델링 능력의 개선이 필요하다.

2.2.2. 대수층 이방성 특성화

- 퇴적 대수층의 특성화를 개선하기 위하여 퇴적환경과 과정에 대한 심도 깊은 연구가 필요하다(미국의 경우에 한정된다)
- 지하수 유동계를 지배하는 단층대와 습곡과 같은 구조대의 이해에 집중적인 연구가 필요하다(우리에게 중요하며, 우리의 실정에 적용이 가능하다).
- 여러 개의 대수층으로 이루어진 계의 특성화 방법으로부터 종합된 정보는 대수층 이방성과 지하수 흐름, 오염 물질 이동을 제어하는 개념 모델 정립에 필수적이다.
- 더욱 확장된 규모의 지하수 흐름의 지질학적 제어 요소는 전혀 다른 지질학적 환경에서 조사하여야 하며, 기반암의 수리 상수를 추론하는 방법도 지질학적, 지구물리학적, 지구화학적 및 수리학적 방법의 통합을 통하여 광역 확장형 규모에서 개발하여야 한다(광역 지하수 수문지질도에 응용이 필요하다. 소규모 대수층과 지역적인 시추공 자료를 그대로 광역 대수층에 적용함은 매우 위험하다).
- 지하수 치유 복구에 좀 더 실질적으로 접근하기 위하여 암석의 고유 공극과 파쇄대면과 접한 부분 내에 숨어있는 오염물질의 규모를 이해하는 것이 중요하다.
- 파쇄대 암석과 석회암 지대의 지하수 흐름과 용질 거

동을 특성화하고 예측하는 보다 통합적인 정량화된 접근방법에 추가적인 노력이 필요하다.

2.2.3. 지하수 유동계의 함양량을 측정하는 방법

- 함양량 예측을 위한 기상학적/농공학적 원리 연구 결과를 폭넓게 응용하여야 한다(우리에게도 꼭 필요한 부분이다)
- 포화대-비포화대 간의 다양한 물리화학적 반응의 이해가 필요하다.
- 지하수 연령추적자 자료의 수집/분석 능력의 향상은 함양량 예측 향상에 필수적이다.
- 토양/암석 종류의 공간적인 다양성을 설명하기 위한 확률론적 접근이 필요하며, 이를 바탕으로 함양 비율의 다양성을 결과로 제시하여야 한다.
- 서로 다른 화학적 성질을 지닌 대수층계의 장기적인 수리 반응 연구가 필요하며, 수치 모델링은 물론 파일럿 규모의 시험장소가 필요하다.
- 지하수 모델 함양을 계산을 위한 전 지구적 기후 모델과 연동된 강수/증발산량 변화 예측 방법론이 필요하다.

2.2.4. 지하수-지표수 연계의 정량화

- 전체 수리 순환계의 지하수 요소를 완벽하게 이해하기 위하여 수리지질 모델과 토양-식생-대기 모델을 연결하는 학술연구가 필요하다.
- 지하수 연구에 응용될 수 있는 이동량(flux)을 측정하고 배출지역을 정하는 다양한 기술의 개선이 요구된다.
- 국지적인 측정의 증발산량으로부터 지역적인 평균값을 얻기 위한 연구의 개선이 필요하다.
- 외부의 원격탐사 자료로부터 얻은 증발산량을 USGS 연구자와 연계하여 통합적 접근 방법의 조사 기법 개발이 필요하다.

2.2.5. 지하수 흐름계와 수생 생태계의 관계 이해

- 서로 다른 영역의 과학자들을 위한 협력 관계 구도와 동시에 지하수와 생태학 연구에 통합된 연구접근을 보장하여야 한다.
- 인간의 활동에 의해 영향을 받는 국부적인 수생 생태계의 수수지 분석 예측 기법 개발을 위하여 다양한 크기의 다양한 수지 요소의 역할을 이해하는 것이 필요하다.
- 인간의 활동에 직접 영향을 받는 수생 생태계의 수질

의 변화 예측이 지하수계의 반응 관계를 통하여 밝혀질 필요가 있다.

- 지표 수질 개선을 위하여 습지와 하안 지역의 능력을 결정하는 연구가 필요하다.

2.2.6. 좀 더 효율적인 컴퓨터 모델의 개발

- 오염물 진행 제어를 위한 지하수위 감소 관리, 지하수-지표수 연계 이용, 해수 침투 감소 등을 위한 응용 이외에도 지하수 최적화 모델은 다양하게 사용될 수 있다.
- 지하수-지표수 생태계와 생화학 측면도 포함하는 완전 연동된 지하수-지표수 모델이 필요하다.
- 3D 다양한 밀도의 흐름 모델이 필요하며, 지하수 흐름 모델과 3D 지질학 모델 간의 완벽한 호환성을 해결하여야 한다.

1999년 수자원국에서 발행한 향후 10년간의 계획을 살펴보면(U.S. Geological Survey 1999), 최근에 제시한 위와 같은 학제 연구와 상당한 괴리가 있음을 알 수 있다. 당시 수자원의 이슈로서 급격한 도시화 혹은 연안지역의 개발이 수자원에 미치는 영향, 음용수, 수생종의 적정성, 오염 환경, 홍수 가뭄 등의 재해, 지하수/지표수 연계 관리, 지하수/지표수 이용 최적화를 포괄하는 전체 수리계의 관리, 이들 이슈를 충족시키기 위한 장기 모니터링 등의 전통적인 방법을 고집하였으나, USGS 정책의 변화와 함께 새로운 방향을 제시함에 눈에 띈다. 1999년의 이슈는 현재 우리나라에서 진행 중인 과제들과 유사한 점이 많으며, 그 당시 이해 당사자들이 요구하는 니즈를 충족키 위한 과제였다. 그러나 이제 사회적 니즈의 변화에 따라 새로운 과제와 계획 도출이 필요한 때로 판단된다.

위 분야 중 두 번째 대수층 이방성 분야는 특히 많은 새로운 기술 개발이 필요하며 현재 진행 중인 한국지질자원연구원의 탐브랜드 사업인 “청정대용량 지하수자원 확보기술개발”의 영역과도 많은 부분 일치한다. 다른 분야의 경우도 우리나라에서 다양한 접근이 이루어지고 있다. 이 같은 수자원국의 지하수 학제 연구 분야에 대한 제시는 6개의 분야에 대한 세부 지침의 형식으로 타 분야와의 공동연구를 활성화하기 위한 노력이 엿보인다. 내부적으로 고집해왔던 연구의 틀을 벗어나 타 학제와 과감한 공동연구를 통하여 혁신적인 변화를 추구하고 있다. 수자원국의 이 같은 모든 노력은 기관의 고유의 기능과 영역을 극대화하기 위한 추구이며, 전략으로 이해된다.

2.3. USGS 생물국(Biological Resources Discipline: BRD)

USGS 생물국은 1996년 작은 정부를 만들려는 정치적인 이유로 많은 국가 기관이 통폐합될 때, USGS 에 편입된 생물청(National Biological Service)이며, 그 이전 명칭은 BBS(Bureau of Biological Survey)이다. 생물국은 예전의 고유 기능을 그대로 유지하고 있으며, 현재에도 NBII(National Biological Information Infrastructure)를 대표적인 과제로 꼽고 있다. 그러나 USGS 의 다른 연구자들과 협력관계를 매우 중시하며, 실제로 대내외적인 협력관계를 돈독히 하고 있다. USGS 의 예산은 10여년간 거의 동결된 상태이며, 이는 임금과 물가의 상승을 고려할 때 지속적으로 감축되었다고 평가된다. 그러나 BRD의 경우, 2000년 136백만불에서 2007년 172백만불로 약 30% 증가하였으며, 비교적 연구 활동이 활발한 수자원국의 예산도 이 기간동안 각각 185백만불과 204백만불로 약 10% 증가에 그쳤다.

생물국의 미국 전역에 퍼져있는 20곳의 분소 중 하나인 대표적인 센터로서 “Natural Resources Research Center(NRRC)”를 들 수 있다. 이 센터에서는 효과적인 정책입안을 위하여 미국의 생물학적 자원의 이해를 돕고 과학적인 정보와 적용방법을 개발하고 배포하는 기관으로, 본부는 덴버에 위치하며 Fort Collins Science Center 에 있다. 이 곳은 6개 이상의 정부 기구와 협력관계를 이루며, 1,200명의 연구 인력을 보유하고 있으며 2005년 건물을 완공하는 등 완벽한 체계를 갖추었다. 이와 같은 센터들과 연구 인력들은 앞서 언급한대로 예전의 고유 기능이 주 업무이다. 그러나 USGS 내외의 요구에 의하여 혹은 자발적인 타 과제 참여로 통합의 시너지 효과를 높이는 역할을 충실히 수행하고 있다. 실제로 USGS 수자원국 혹은 지질국과의 협력관계에 대한 설명은 BRD의 전략보고서에 나타난다(Dresler et al., 2004; Ruggiero et al., 2005). 이 전략보고서에서는 수자원국 혹은 지질국과의 협력관계를 전략에 명시함으로써 연구자들간 협력을 유도하고 있다. 특히 생물자원 프로그램(Dresler et al., 2004)에서는 NAWQA(National Water Quality Assessment Program) 과 조인트 샘플링과 자료의 통합을 유도하고, 방법론적인 새로운 시도와 협력을 명시하고 있다.

2.4. USGS 수자원국 지하수 모델링 연구자들의 노력

수자원국내 지하수 연구 분야는 크게 지하수, 지표수, 생태학, 지형/퇴적물 이동 분야로 구분된다. 많은 인력과 예산이 NRP에 속하며, 세계적인 논문이 생산되고, 유수

의 연구자들이 포진되어 있다. 아울러 이 연구자들과 연구 분야는 전체 국가 정책과 USGS 체계, 그리고 수자원국의 정책 내에서 지속적으로 자리매김을 함으로서 정체성을 유지한다. 지하수 분야 연구는 지하수 화학과 지하수 수문학 분야로 구분되며, 여기서는 지하수 수문학 분야중 하나인 지하수 모델링 연구자들의 표준화/정체성 확보 노력에 대하여 고찰하였다. 단순히 연구자가 지니고 있는 노하우가 아니라, “지하수 모델링 보고서 쓰기”라는 표준화방법을 Technical Memorandum 형식으로 기술 내부 지침을 만들었다. 다음은 그 내용이다.

일반적으로 지하수 모델은 지하수계의 현상과 문제해결을 위하여 오늘날 가장 많이 쓰이는 방법이다. 지하수 모델은 과학적인 가설의 현실화(가시화)라 할 수 있기 때문에, 가설을 세우고 발전시킨 연구자와 수학적 공식은 실제 시스템에 적용시키고자 하는 연구자, 그리고 조사의 목적을 만족시키기에 충분하다고 판단하여 모델을 사용하는 연구자 모두에게, 모델 개발의 명확하고 완전한 보고서화가 반드시 필요하다. 제대로 구성된 지하수계 모사 보고서의 틀을 살펴보면 다른 조사 연구 내용과 다를 바가 없다: i) 연구의 목적, ii) 수행한 연구 내용, iii) 연구에 사용한 분석방법이 올바른 것이라고 독자들에게 납득시키는 논리적인 주장, 그리고 iv) 결론과 결과 로 이루어져 있다.

USGS의 지하수국은 지하수 모델의 개발과 연구에 많은 연구자/개발자를 보유하고 있으며, 자체적으로 지하수 모델링과 관련한 보고서에 반드시 필요한 사항을 USGS 지하수기술 메모렌덤 96.04(지하수모델 연구를 서술하기 위한 방법)(U.S. Geological Survey, 1996)으로 제시하고 있어, 이를 우리의 실정에 맞게 해석한다면 내부 지침에 해당한다. 이 메모의 근간은 이전의 지하수국 기술 메모렌덤 75.11(U.S. Geological Survey, 1975)이 있으며, 이 역시 지하수 모델을 사용할 경우 반드시 거쳐야하는 연구의 방법과 순서, 그리고 보고서에 기술하여야 할 내용을 담고 있다. 부연하면 모사 방법이 사용된 보고서에 반드시 포함하여야 할 일반 원칙을 배포하여 도움을 받도록 하였다.

1996년 지하수기술 메모렌덤 96.04의 내용을 요약하면 다음과 같이 10개의 항목으로 이루어져 있다:

- 1) 연구의 목적과 이 목적을 풀기 위한 모사의 역할을 서술한다.
- 2) 조사의 대상이 되는 수리계를 서술한다.
- 3) 연구에 사용한 수학적 방법과 문제 해결을 위한 적

합성을 서술한다.

- 4) 모사계에서 사용한 경계조건의 수리지질학적 특성을 서술한다.
- 5) 모사 방법이 FDM이나 FEM같이 계를 잘게 나누는 방법을 택하였다면 네트워크의 구성을 설명하고 정당화하여야 한다.
- 6) 모델에 사용한 대수층계의 상수들을 설명한다
- 7) 양수량, 지하수로부터의 증발산량, 침투효과에 의한 공급량, 강물의 수위변화, 다른 대수층으로부터 누출, 용질 이동 모델에서의 근원 농도값 등과 같이 모델에서 사용한 각종 stress 값들을 설명한다.
- 8) Transient 모델의 경우 모사에 사용한 초기 상태를 설명한다.
- 9) 모델의 교정을 할 경우, 교정의 기준과 방법, 그리고 결과를 제시한다.
- 10) 실제 계를 모델을 사용하여 표현할 수 있는 한계에 대한 토의가 필요하며, 보고서의 결과와 결론 부분에 이 한계에 대하여 강조하여야 한다.

지하수 연구에서 모사 연구 보고서에는 특별한 정답 대조표나 비법은 없다. 모사 연구에서 적절한 수준의 보고서라고 판단하는 것은 연구 목적과 복잡성에 따라 천차만별이며, 지하수 유동계의 실제 기구에 대한 모델링 과정 동안 연구자는 조사 지역에 대한 통찰력을 얻을 수 있다. 이것은 지하수 모델링은 하나의 유용한 도구로 간주되는 뜻이다. 그러므로 이 과정동안 얻은 인식을 연구의 중요한 성과물로 간주하여야 하며 동시에 모델링 보고서에서 언급하고 적절히 토의하여야 한다고 서술하였다.

이와 유사한 최근의 보고서로는 2004년 발간된 “지하수유동 모델 평가 가이드라인”(Reilly et al., 2004)을 들 수 있다. 이 보고서에는 특정한 문제를 해결하기 위한 각기 다른 방법들을 예제와 함께 제시하였으며, 모델의 격자를 작성할 때 범하기 쉬운 실수 등에 관하여 언급하였다.

3. 결 언

앞으로 연구의 방향과 새로운 계획에서 우리의 테크니칼 로드맵과 함께 국외 우수 기관의 연구에 대한 벤치마킹이 반드시 필요하다. 이 소개에서는 USGS 정책 방향의 제시와 수자원국의 지하수 분야 발전 방향, 그리고 지하수 연구자들의 모델링 분야에서의 보고서 표준화 노력 등에 대하여 다운사이징의 방법으로 기술하였다. 위 세 가지 수준의 정책과 지하수 연구의 세밀한 분야의 고찰을

통하여, 지하수 분야의 USGS 정책과 구체적인 테마에 대하여 언급하였다. 우리나라 지하수 연구자들은 알게 모르게 USGS의 다양한 연구테마를 벤치마킹하고 있으며, 세부적인 연구 분야에서는 특히 진보된 방법과 연구 체계에 관한 정보를 얻고 있다. 위 언급한대로 USGS 에서 가장 중점을 두는 최근 연구/정책 분야는 생태계 전략이다. 이 전략은 우리가 생각하는 것보다 실제로 더 많은 비중을 두고 있다. 이 소개를 통하여 우리 연구자들의 좀 더 체계적인 접근과 선진국의 큰 흐름을 놓치지 않는 계획을 기대하는 바이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 “청정대용량 지하수자원확보기술개발”의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- Dresler, P.V., James, D.L., Geissler, P.H., Bartish, T.M., and Coyle, J., 2004, Strategic Plan for the U.S. Geological Survey Status and Trends of Biological Resources Program: 2004-2009, USGS Circular 1277, p. 24.
- Reilly, T.E. and Harbaugh, A.W., 2004, Guidelines for Evaluating Ground-Water Flow Models, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004-5038, p. 37.
- Ruggiero, M., McNiff, M., Olson, A., and Wheeler, B., 2005, Strategic Plan for the U.S. Geological Survey Biological Informatics Program: 2005-2009, p. 20.
- Sanford, W.E., Caine, J.S., Wilcox, D.A., McWreath, H.C., and Nicholas, J.R., 2006, Research Opportunities in Interdisciplinary Ground-Water Science in the U.S. Geological Survey, USGS Circular 1293, p. 32.
- U.S. Geological Survey, 1975, TM No. 75.11-Ground Water Branch Technical Memorandum-Documenting the use of ground-water simulation in project reports.
- U.S. Geological Survey, 1996, TM No. 96.04-Office of Ground Water Technical Memorandum - Policy on Documenting the Use of Ground Water Simulation in Project Reports. April. <http://water.usgs.gov/admin/memo/GW/gw96.04.html>
- U.S. Geological Survey, 1999, Strategic Directions for the Water Resources Division, 1998-2008, U.S. Geological Survey Open-File Report 99-249, p. 19.
- U.S. Geological Survey, 2007, Facing Tomorrow's Challenges-U.S. Geological Survey Science in the Decade 2007-2017, USGS Circular 1309, p. 81.