

[기술보고]

## 우리나라 지하수 개발가능량 산정의 현황과 전망

정일문<sup>1</sup> · 김지태<sup>2</sup> · 이정우<sup>1\*</sup> · 장선우<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 수자원하천연구소, <sup>2</sup>(주)SDM엔지니어링

[Technical Report]

### Status of Exploitable Groundwater Estimations in Korea

Il-Moon Chung<sup>1</sup>, Jitae Kim<sup>2</sup>, Jeongwoo Lee<sup>1\*</sup>, and Sun Woo Chang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hydro Science and Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Gyeonggi-do 411-712, Korea

<sup>2</sup>Safety and Disaster Management Engineering Inc., Seoul 153-782, Korea

Received 5 June 2015; received in revised form 19 June 2015; accepted 21 June 2015

---

우리나라 지하수 개발가능량의 현황을 기출간된 지하수 관리 기본계획 보고서 내용을 기반으로 정리했다. 또한 지하수 개발가능량의 결정적인 요소인 지하수 함양량 산정기법을 검토하였다. 최종적으로 일정기간 수행된 지하수 기초조사 보고서에 나타난 지역별 지하수 개발가능량 산정기법을 검토, 요약했다. 지하수 개발가능량의 개선을 위해서는 개선된 기법(물수지 분석, 개선된 지하수위 변동법)의 적용과 함께 지속가능한 지하수 관리개념의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

**주요어:** 지하수 개발가능량, 지하수 함양량, 개선된 물수지법, 개선된 지하수위 변동법

We summarize the status of exploitable groundwater reserves in Korea based on reports of the National Basic Groundwater Plan, and review methods for estimating groundwater recharge rates, as recharge is a key factor in the estimation of exploitable groundwater reserves. We also outline the various methods used to assess exploitable groundwater reserves in previous groundwater investigation reports. Regarding advancements in the estimation of exploitable groundwater, we recommend that enhanced estimation methodologies (e.g., the water balance method and the advanced water table fluctuation method) and sustainable groundwater management concepts be adopted in the near future.

**Key words:** exploitable groundwater, groundwater recharge, enhanced water budget method, advanced water table fluctuation method

---

---

\*Corresponding author: [ljw2961@kict.re.kr](mailto:ljw2961@kict.re.kr)

© 2015, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

우리나라에서 지하수는 먹는 샘물과 같은 양질의 용수로 널리 이용되고 있는 한편, 지표수 고갈시의 대안적 역할을 감당하는 보조 수자원의 역할을 감당하고 있다. 그런데 지하수가 부존하는 대수층은 무한대의 물 공급원이 아니라 여러 가지 상황을 고려하여 최적으로 관리해야 할 대상이다. 특히 오염에 취약한 지하수에 대한 보전 관리대책이 시급하며 경제성 측면에서는 지표수와 연계하여 관리하는 것이 적절하다. 결국 이상적인 지하수 관리란 유역내의 정해진 조건에 대해서 법적, 사회적, 정치적 제약조건과 수질, 개발 및 운영비용등을 고려하여 현재 혹은 미래의 지하수 문제(고갈, 수질악화, 지반침하)를 야기시키지 않는 범위에서 최대 가능 지하수량을 개발하는 것이라고 볼 수 있다. 대부분의 지하수 문제는 바람직하지 못한 결과를 간과하고 물수요만을 충족시키다가 발생한 부작용으로 볼 수 있기 때문이다 (Chung and Kim, 2003).

우리나라 지하수 관리의 목표는 공적자원인 지하수의 합리적인 개발·이용 및 보전·관리를 통해 지하수의 안정적인 수량/수질을 확보하는 것이다(MOLIT and K-Water, 2007a). 한편, 미국에서는 지난 수십년간 지하수 관리의 시행착오를 겪으면서, 지하수 관리의 기존방식인 안전채수량 개념의 한계를 인식하고 지속가능성의 관점에서 미래지향적인 지하수 관리방식을 채택하는 단계에 이르게 됐다(Sophocleous, 2000). 우리나라도 선진국의 시행착오를 교훈삼아 보다 효율적인 지하수 관리방안의 개념을 도입할 필요가 있다.

지하수법의 제5조 및 제6조에 따라 우리나라에서는 지하수관리 기본계획 및 지하수 기초조사를 실시하고 있으며, 기본계획 및 기초조사의 내용 중에는 지하수의 개발가능량을 산정하는 부분이 필수 조건이다. 현재 우리나라에서는 통상 10년 빈도 갈수시의 연간 지하수 함양량을 개발가능량으로 정의하고 있다(MOLIT, 1996). 한편, 지하수 함양량의 정확한 관측치를 구하는 것은 거의 불가능하여 지금까지 전 세계적으로 기저유출분리방법, 지하수위 변동법, 환경/추적자 활용법, 물수지 분석법, 유역수문모형을 이용한 방법등이 널리 사용되어왔다(Healy, 2010). 하지만, 최근 기후변화를 고려한 수문현상의 변화를 고려할 때 10년 빈도 갈수시 함양량의 조정은 필요할 것으로 판단된다.

최근 개정지하수법 제6조 2항에 따라 시장, 군수도 필요시 지역지하수 관리 계획을 수립할 수 있게 됨에

따라 유역의 대표치만을 제시하는 기존의 지하수 함양량 산정은 토지이용과 토양특성을 감안하여 보다 세밀하게 산정되어야 할 필요가 있다. 또한 지하수 함양량은 시공간적으로 변동하는 양이므로 개발가능량 역시 이와 같은 계절적 변동을 고려할 필요가 있다. 더욱이 지하수는 별도의 수자원이 아닌 수문순환 체계내에서 유동하므로 지하수 개발가능량 산정을 지하수 함양량만으로 평가하는데는 근본적인 한계가 있다. 이러한 요구사항에 부응하기 위해서는 현재의 개발가능량을 산정하는 기준에 대해서 고찰하고 실질적인 유역내의 지하수 개발량을 산정하는 새로운 대안이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 현 우리나라 지하수 개발가능량의 현황과 문제점을 살펴보기 위해 우리나라 지하수 계획의 근간이 되는 지하수관리 기본계획 보고서(MOLIT, 1996; MOLIT and K-Water, 2002; MOLIT and K-Water, 2007a)와 2005년부터 2007년까지 3년간 발간된 20권의 지하수 기초조사 보고서를 대상으로 하여 지하수 함양량 및 개발가능량 산정에 적용된 방법과 최종적으로 채택된 방법이 무엇인지 조사분석하고 관련된 문제점을 토의하고 대안적 전망을 제시하고자 한다.

## 지하수 개발가능량 산정 현황

### 지하수 함양량 산정의 제기법 검토

개발가능량 산정의 기준이 되는 지하수 함양량을 추정하기 위해 국내외적으로 적용되는 기법으로는 기저유출분리법, 지하수위 변동법, 환경동위원소 추적법, 분포형 수문모형에 의한 방법 등이 있다. 기저유출분리법은 자연유량 자료가 풍부한 경우 정확한 값을 산정할 수 있으나 유역구출구의 유량자료를 이용하는 대표치 개념이다(Arnold et al., 2000). 지하수위 변동법은 대수층으로의 실제 함양률을 계산하는 장점이 있으나 국지적 영향 반경의 범위로 제한될 수 있는 단점이 있다(Scanlon et al., 2002; Koo and Lee, 2003). 환경동위원소 추적법에 의한 함양량 추정방법(Andres and Egger, 1985)은 농도 변화에 의한 관측이 용이한 장점이 있으나 고가의 실험과 수문성분 파악에는 한계가 있다(Koo and Kim, 2003). 최근 사용되는 분포형 수문모형은 함양량의 시공간 분포해석이 가능한 장점이 있으나 입출력 자료가 방대한 단점이 있다(DHI, 1999; Chung et al., 2010).

### 지하수 관리 기본계획상의 개발가능량

지하수 관리 기본계획은 국가 지하수의 마스터 플랜

으로 주로 행정구역 및 권역별 지하수 개발가능량을 거시적으로 정의하고 있다. 1996년 지하수관리 기본계획(MOLIT, 1996)에서는 지하수 개발가능량 산정에 기저유출 분리방법을 사용하였는데, 보고서에서는 기저유출 분리방법을 적용한 이유를 물리적 의미를 가지고 있으면서 비교적 간편한 절차에 의해 모든 유역에 일관성 있게 적용할 수 있기 때문이라고 제시하고 있다. 1996년 기본계획에서는 유출수문곡선으로부터 기저유출을 분리함에 있어 지하수 감수기간과 지하수 함양기간으로 나누어 분리하였다. 감수기간의 기저유출 분리에서는 해석적 방법 중 흐름방정식을 이용하는 방법과 저수지유출 모형을 이용하는 방법을 적용하였으며, 함양기간의 기저유출 분리 시에는 두 감수기간 사이의 기저유출곡선에서 종점과 시점을 직선으로 외삽한 곡선을 지하수 함양기간의 기저유출곡선으로 택하는 방법을 적용하였다. 이러한 방법으로 지하수 감수기간 및 함양기간으로부터 기저유출을 분리하여 1년 단위 기저유출을 산정하였으며, 지역별로는 전국을 5대강 유역과 해안 유역으로 구분하여 각각의 지하수 개발가능량을 계산하였다.

2002년 지하수관리 기본계획 보완(MOLIT and K-Water, 2002)에서는 지하수 수위 강하곡선 분석방법을 적용하여 지하수 개발가능량을 산정한 후 ‘지하수는 물순환체계상 지표수와 직·간접적으로 연결되어 있어 서로 영향을 주나, 지하수와 지표수의 상호 기여도, 지하수 채수가 지표수 유량에 미치는 영향 등 이에 관련된 조사연구가 아직까지 거의 이루어지지 않아 이번 지하수 개발가능량 산정에서는 이를 고려하지 못하였다’고 자체 평가를 하면서 ‘지표수를 인위적으로 개발·이용할 경우에는 수문 순환계의 기존 평형상태에 변화를 야기하여 지하수의 함양과 유출 등이 달라질 수 있으나 아직까지 국내에서 이에 대한 조사·연구가 이루어지지 않은 관계로 지하수 개발가능량 산정에는 이의 반영이 이루어지지 않았다’고 부연 설명하였다. 또한, 향후 계

획을 언급하면서 ‘이번 계획에서 산정, 제시된 지하수 개발가능량은 지표수와 분리된 별도의 수자원량으로 볼 수 없으며 이를 기준으로 지하수를 개발·이용하는 경우 지표수인 하천 유량이 줄어들 수 있으므로, 지속적인 수자원 이용을 위해서는 인근의 지표수 개발과 연계하여 지하수 개발·이용계획을 수립하는 것이 바람직하다’는 결론으로 개발가능량 산정 부문을 마무리하였다.

또한 2007년 지하수 관리 기본계획(MOLIT and K-Water, 2007a)에서는 2002년의 결론과 유사하게 ‘지하수는 수문순환계상 지표수와 직·간접적으로 연결되어 있어 서로 영향을 주고 있으나, 아직까지 지표수와 지하수의 상호 기여도(지하수 이용, 상하수도 누수, 지하수 유출 등)에 대한 관련 조사·연구 및 자료가 미흡함에 따라 이번 개발가능량 산정에서는 이를 고려하지 않았다(MOLIT and K-Water, 2007a)’고 평가하고, ‘따라서 지역지하수관리계획 수립시 시·도별 특성을 고려하여 별도로 산정된 지하수 개발가능량은 지역 실정에 따라 적용 가능하며, 이번에 산정된 지하수 개발가능량을 기준으로 지하수를 개발·이용하는 경우 지속적인 수자원 이용을 위해서는 지표수 개발과 연계하여 지하수 개발·이용계획을 수립하는 것이 바람직하다’는 결론을 도출하였다.

이와 같은 내용을 종합해 볼 때 2002년, 2007년의 기본계획에서는 지금까지 산정, 제시된 우리나라의 지하수 개발가능량에는 지표수와 지하수의 상호 연관성이 고려되지 않았으며, 양수 등 지하수의 이용, 하천수의 이용 등에 의한 영향은 반영되지 않았음을 알 수 있다.

1996년, 2002년, 2007년 발간된 지하수관리 기본계획에서 제시한 지하수 개발가능량의 내용을 정리하면 Table 1과 같다.

2002년과 2007년 발간된 지하수관리 기본계획 중 지하수 개발가능량 산정 부분은 모두 지하수 수위 강하곡선을 이용하여 지하수 함양률을 산정하고 그 결과에 10

**Table 1.** Estimated exploitable groundwater in the previous report.

Year	Estimated exploitable groundwater (billion m <sup>3</sup> /yr)	Ratio to annual rainfall	Estimation method	Suggestion
1996	13.26	10.2%	Baseflow separation	Integrated surface-groundwater management is needed
2002	11.76	9.2%	Analysis on the groundwater level fluctuation method	Planning on the conjunctive use of groundwater with surface water is needed
2007	10.85	8.8%	Modified water table fluctuation method	Establishment of basic planning on the integrated use of groundwater with surface water is needed

년 빈도 가뭄에 해당하는 강우량을 대입, 계산된 결과를 지하수 개발가능량으로 제시하였다.

두 개 연도의 보고서 모두 지하수 함양계수를 구하기 위해 지하수 관측 자료를 사용하였는데, 2002년과 2007년에 활용할 수 있는 자료의 개수에 차이가 있었다. 2002년에는 '지하수 관측연보 2000'에 수록되어 있는 국가지하수관측망의 관측소 134개 지점 중 지하수위강화 대표곡선(MRC) 해석이 불가능한 8개 지점을 제외한 총 126개소의 관측 자료를 사용하였다. 반면 2007년에는 국가지하수관측망 157개, 지하수 기초조사 관측점 128개, 보조지하수관측망 26개 지점 등 총 311개 지점의 관측 자료를 활용하여 지하수 함양률을 산정했다. 2002년과 2007년의 지하수관리 기본계획에서는 모두 지하수위 관측점이 속해 있는 유역에서 지하수 함양계수를 지하수 위강화 대표곡선을 분석하여 직접 구한 후, 미계측 유역에 대해서는 계측 유역에서 구한 함양계수를 이용하여 간접적으로 함양계수를 산정하였는데 그 방식에서 차이를 보이고 있다.

2002년 기본계획에서는 토양 유형, 토지이용, 기반암의 암종에 따른 통계분석을 통해 3가지 인자에 의한 유역의 평균 함양계수를 각각 별도로 산정한 후, 각 인자가 지하수 함양계수에 미치는 영향을 반영한 인자별 가중치를 최적화하는 방법으로 유역별 지하수 함양계수를 산정하였다. 반면 2007년 기본계획에서는 311개 지점에 대한 지하수 함양률로부터 티센망을 구성하여 중권역별 지하수 함양률을 산정하고, 이를 다시 면적가중 평균하여 대권역 및 유역의 지하수 함양률을 산정하였다.

2002년 보고서에 제시된 우리나라 연간 지하수 함양량은 168.4억  $m^3$ 이며 2007년 보고서에서는 163.2억  $m^3$ 으로 약 5.2억  $m^3$ 의 차이를 보이고 있으며, 10년 빈도 가뭄에 대한 함양량인 지하수 개발가능량은 전술한 바와 같이 각각 116.7억  $m^3$ 과 108.5억  $m^3$ 로 제시되어, 약 8.2억  $m^3$ 의 차이를 보이고 있다.

이와 같이 지하수 개발가능량이 감소한 데에는 전술한 관측 자료의 차이, 미계측 유역 지하수 함양계수 산정 방법의 차이, 기본적인 강우량의 차이 등 여러 가지가 있을 수 있으나, 기본적으로 적용한 방법론은 동일하므로 어느 경우가 더 신뢰도가 높다고 판단하기는 어렵다. 다만, 2007년 기본계획이 보다 많은 자료를 사용하였으므로, 좀더 정확도가 높아졌을 것으로 유추할 수 있다.

### 지하수 기초조사 보고서 검토

지하수 기초조사를 시행할 때 지하수 함양량 및 개발

가능량을 어떠한 방법으로 산정하고 있는지를 파악하기 위해 2005년~2007년에 수행된 지하수 기초조사 보고서를 참고하였다. 조사 대상 지하수 기초조사 보고서의 지하수 함양량 및 개발가능량 산정 방법을 비교한 결과 대상 보고서 모두에서 작성 지침에 제시된 산정 방법을 포함하여 2개 이상의 방법으로 지하수 함양량 및 개발가능량을 산정한 후 비교·분석을 통해 해당 지역의 함양량 및 개발가능량을 제시하였다.

작성 지침에 제시된 산정 방법인 지하수 수위 변동곡선 분석, 수문학적 물수지 분석, 기저유출 분리, 염소이온 함량 분석, 분포형 수문모형 분석 등 5가지의 방법 중 가장 많이 활용된 방법은 지하수 수위 변동곡선 분석 방법으로서, 조사 대상 보고서 모두에서 활용되었다. 그 다음으로는 수문학적 물수지 방법, 기저유출 분리 방법, 분포형 수문모형의 순으로 활용되었으며, 염소이온 함량 분석 방법은 사용되지 않았다.

작성 지침에 제시된 방법 외에도 토양수분 수지 분석, SCS-CN 방법, 동위원소 추적자 방법, 지하수위 상승량·강수량 변화율 분석 방법 등 네 가지의 방법이 적용된 예가 있었으며, 그 적용 빈도는 SCS-CN 방법, 토양수분 수지 분석의 순이었으며, 동위원소 추적자 방법, 지하수위 상승량·강수량 변화율 분석 방법은 각각 1번씩 적용되었다.

최종적으로 채택된 방법은 지하수 수위 변동곡선 분석 방법이 가장 높았으며, 모든 보고서에서 채택되었다. 두 번째는 기저유출 분리 방법, 그리고 세 번째는 수문학적 물수지 분석, 분포형 수문모형 분석, 동위원소 추적자 방법, 지하수위 상승량·강수량 변화율 분석 방법 등이었으며, 모두 지하수 수위 변동곡선 분석 방법과 함께 채택되었다.

모든 보고서에서 지하수 수위 변동곡선 방법을 적용 및 최종 채택한 이유는 2002년에 발간된 지하수관리 기본계획 보고서에서 이 방법을 채택한 것에 주로 기인한다고 판단되며, 조사지역 전반의 지하수 함양률을 추정할 수 있는 점도 주된 요인이었던 것으로 분석되었다. 각 보고서에서 적용된 산정 방법을 비교한 결과를 Table 2에 제시하였고, 기법별 함양률 산정결과를 Table 3에 제시하였다. Table 4는 2005년~2007년 지하수 기초조사에 적용된 지하수 개발가능량 대비 함양량의 비율을 나타낸 것이다.

Table 3에 나타난 바와 같이 지하수 함양량 산정 기법에 따라 강수대비 함양률이 크게 달라지는 것을 볼 수 있는데 한 지역에서 가장 큰 차이를 보인 곳은 속초,

**Table 2.** Methods of estimating exploitable groundwater in previous reports (2005~2007).

Region (Year)	Suggested methods					Alternative methods			
	Water Table Fluctuation	Water budget	Baseflow separation	Chloride ion	Distributed hydrologic model	Soil water budget	SCS-CN	Isotope tracer	Analyzing water level vs. rainfall
Gumi (MOLIT and K-Water, 2007b)	⊙	○	-	-	-	-	○	-	-
Boryeong (MOLIT and K-Water, 2007c)	⊙	○	-	-	-	-	-	-	-
Boeun (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2007a)	⊙	-	⊙	-	-	-	-	⊙	-
Bucheon-Siheung (MOLIT, K-Water and KRCC, 2007a)	⊙	⊙	-	-	-	⊙	⊙	-	-
Sokcho-Goseong (MOLIT and K-Water, 2007d)	⊙	○	-	-	-	-	-	-	-
Anseong (MOLIT, K-Water and KRCC, 2007b)	○	○	-	-	-	○	○	-	-
Yongsan (MOLIT and K-Water, 2007e)	⊙	○	-	-	-	-	-	-	-
Yesan (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2007b)	⊙	-	⊙	-	-	-	-	-	-
Seosan (MOLIT and K-Water, 2006)	⊙	○	-	-	-	-	-	-	-
Yeon-gi (MOLIT, K-Water and KRCC, 2006)	⊙	⊙	-	-	-	⊙	⊙	-	-
Iksan (MOLIT, K-Water and KRC, 2006a)	⊙	○	○	-	-	-	-	-	-
Cheongwon-Cheongju (MOLIT, K-Water and KRC, 2006b)	⊙	○	-	-	⊙	-	-	-	-
Kwangju (MOLIT and K-Water, 2005a)	⊙	○	-	-	-	-	○	-	-
Kimje (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005a)	⊙	-	⊙	-	-	-	-	-	-
Kimhae (MOLIT, K-Water and KRCC, 2005a)	⊙	○	○	-	-	-	-	-	-
Masan-Jinhae (MOLIT, K-Water and KRC, 2005b)	⊙	⊙	-	-	-	-	-	-	-
Shinan (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005b)	○	○	-	-	-	-	-	-	⊙
Incheon (MOLIT and K-Water, 2005b)	⊙	○	-	-	-	-	-	-	-
Chilgok (MOLIT and K-Water, 2005c)	⊙	○	-	-	-	-	-	-	-
Hongseong (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005c)	⊙	-	⊙	-	-	-	-	-	-

※ ○ : Used method, ⊙ : Chosen method

**Table 3.** Estimated groundwater recharge rate in previous reports (2005~2007).

Region (Year)	Suggested methods					Alternative methods			
	Water Table Fluctuation	Water budget	Baseflow separation	Chloride ion	Distributed hydrologic model	Soil water budget	SCS-CN	Isotope tracer	Analyzing water level vs. rainfall
Gumi (MOLIT and K-Water, 2007b)	<b>14.4</b>	15.0	-	-	-	-	15.4	-	-
Boryeong (MOLIT and K-Water, 2007c)	<b>17.2</b>	23.7	-	-	-	-	-	-	-
Boeun (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2007a)	<b>13.9</b>	-	<b>14.0</b>	-	-	-	-	<b>15.8</b>	-
Bucheon-Siheung (MOLIT, K-Water and KRCC, 2007a)	<b>17.8</b>	<b>21.7</b>	-	-	-	<b>19.1</b>	<b>31.7</b>	-	-
Sokcho-Goseong (MOLIT and K-Water, 2007d)	<b>17.4</b>	35.2	-	-	-	-	-	-	-
Anseong (MOLIT, K-Water and KRCC, 2007b)	15.8	16.1	-	-	-	16.7	17.5	-	-
Yongsan (MOLIT and K-Water, 2007e)	<b>14.6</b>	17.3	-	-	-	-	-	-	-
Yesan (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2007b)	<b>11.4</b>	-	<b>13.1</b>	-	-	-	-	-	-
Seosan (MOLIT and K-Water, 2006)	<b>14.9</b>	18.9	-	-	-	-	-	-	-
Yeon-gi (MOLIT, K-Water and KRCC, 2006)	<b>13.2</b>	<b>21.3</b>	-	-	-	<b>16.6</b>	<b>15.8</b>	-	-
Iksan (MOLIT, K-Water and KRC, 2006a)	<b>13.8</b>	22.9	14.8	-	-	-	-	-	-
Cheongwon-Cheongju (MOLIT, K-Water and KRC, 2006b)	<b>17.0</b>	20.0	-	-	<b>22.8</b>	-	-	-	-
Kwangju (MOLIT and K-Water, 2005a)	<b>17.2</b>	19.1	-	-	-	-	25.1	-	-
Kimje (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005a)	10.4	-	8.1	-	-	-	-	-	-
Kimhae (MOLIT, K-Water and KRCC, 2005a)	<b>13.7</b>	16.4	8.8	-	-	-	-	-	-
Masan-Jinhae (MOLIT, K-Water and KRC, 2005b)	<b>9.8</b>	<b>13.3</b>	-	-	-	-	-	-	-
Shinan (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005b)	10.9	15.1	-	-	-	-	-	-	<b>10.3</b>
Incheon (MOLIT and K-Water, 2005b)	<b>12.1</b>	11.2	-	-	-	-	-	-	-
Chilgok (MOLIT and K-Water, 2005c)	<b>15.5</b>	20.2	-	-	-	-	-	-	-
Hongseong (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005c)	<b>9.0</b>	-	12.5	-	-	-	-	-	-

**Table 4.** The exploitable groundwater vs. annual recharge in the previous reports (2005-2007).

Region (Year)	Area (km <sup>2</sup> )	Rainfall (mm/yr)	Total water amount (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr)	Groundwater recharge (GR)		Exploitable groundwater (ExGW)		ExGW/ GR (%)
				10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr	Ratio (%)	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr	Ratio(%)	
Gumi (MOLIT and K-Water, 2007b)	616.25	998.9	615,591	88,337	14.4	57,681	9.4	65.3
Boryeong (MOLIT and K-Water, 2007c)	518.56	1,258.3	651,642	112,223	17.2	81,743	12.5	72.8
Boeun (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2007a)	584.47	1,197.2	699,611	97,542	13.9	67,429	9.6	69.1
Bucheon-Siheung (MOLIT, K-Water and KRCC, 2007a)	187.84	1,185.9	222,235	41,603	17.8	29,566	13.3	71.1
Sokcho-Goseong (MOLIT and K-Water, 2007d)	769.45	1,390.6	1,069,997	186,612	17.4	138,772	13.0	74.4
Anseong (MOLIT, K-Water and KRCC, 2007b)	553.46	1,167.4	646,102	106,823	16.5	75,245	11.7	70.4
Yangsan (MOLIT and K-Water, 2007e)	484.05	1,327.1	635,970	92,821	14.6	62,079	9.8	66.9
Yesan (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2007b)	543.13	1,194.6	648,824	73,901	11.4	54,922	8.5	74.3
Seosan (MOLIT and K-Water, 2006)	739.39	1,261.9	932,971	140,282	14.9	102,035	10.9	72.7
Yeon-gi (MOLIT, K-Water and KRCC, 2006)	361.44	1,283.3	469,673	62,127	13.2	40,793	8.7	65.7
Iksan (MOLIT, K-Water and KRC, 2006a)	507.11	835.1	421,677	101,899	13.8	71,137	11.8	69.8
Cheongwon-Cheongju (MOLIT, K-Water and KRC, 2006b)	967.61	1,166.6	1,148,167	195,078	17.0	132,498	11.5	67.9
Kwangju (MOLIT and K-Water, 2005a)	501.36	1,379.7	691,578	118,947	17.2	70,777	10.2	59.5
Kimje (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005a)	510.43	1,101.5	562,239	56,093	10.4	56,093	10.4	100.0
Kimhae (MOLIT, K-Water and KRCC, 2005a)	463.26	1,429.4	667,661	91,448	13.7	64,014	9.6	70.0
Masan-Jinhae (MOLIT, K-Water and KRC, 2005b)	441.94	1,521.0	671,540	63,045	9.8	33,578	5.0	53.3
Shinan (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005b)	631.81	1,227.6	775,610	80,121	10.3	80,121	10.3	100.0
Incheon (MOLIT and K-Water, 2005b)	851.79	1,220.5	1,039,802	159,417	15.3	110,377	10.6	69.2
Chilgok (MOLIT and K-Water, 2005c)	450.91	693.3	461,777	71,550	15.5	48,271	10.5	67.5
Hongseong (MOLIT, K-Water and KIGAM, 2005c)	443.81	1,340.5	594,927	53,365	8.97	53,365	8.97	100.0

고성 지역으로 최소-최대값의 편차가 102%(수문학적 물수지법 35.2%, 지하수위 변동곡선법 17.4%)에 달했다. 평균 지하수 함양률은 수문학적 물수지법과 SCS-CN방법에 의한 추정값이 대체로 크게 나타났고, 지하수위 변동곡선법과 기저유출분리법은 상대적으로 적게 추정된 것으로 나타났다. 2005-2007년에 수행된 지하수 기초조사에서 산정된 평균 지하수 함양량은 연강수량 대비 약 14.3%, 개발가능량은 약 10.3%로 나타났다.

## 전 망

현재 우리나라의 지하수 관련 최상위 계획인 지하수 관리 기본계획에서는 방법론적으로 보다 일반화된 기법을 선호하고 있으며 주로 지하수위 변동법을 이용하여 함양량을 산정하고 10년 빈도 갈수시의 함양량을 개발가능량으로 선정하고 있다. 또한 지역별 세부 수리지질 조사라고 할 수 있는 지하수 기초조사를 살펴보면 ‘지하수 기초조사 및 지하수 지도 제작·관리 지침(MOLIT, 2010)’에 제시된 기법을 기본적으로 적용하고는 있으나, 적용기법에 대한 구체적인 기준 및 일관성이 결여되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 기법별 함양량을 구한 후 개발가능량에 적용하는 기법을 최종 선택하는 과정에 기준이 없어(일부는 최소값, 일부는 평균값 등) 지역별로 신뢰도에 차이가 발생할 수 있다.

‘지하수 기초조사 및 지하수 지도 제작·관리 지침(MOLIT, 2010)’에서는 함양량 평가를 위해 지하수 수위 변동곡선 분석, 수문학적 물수지 분석, 기저유출 분리, 염소이온 함량 분석, 분포형 수문모형 분석 등 5가지의 방법 중 2가지 이상 방법을 적용하여 결과를 비교하도록 추천하고 있다.

이 중에서 물리적 기반의 분포형/준분포형 수문모형(SWAT, SWAT-K, GS-FLOW, PRMS, MODFLOW 등)은 강수로부터 증발산, 지표면 유출, 중간유출, 지하수 유출 성분을 정확하게 계산할 수 있다. 따라서, 지하수위 변동곡선법에 의한 함양량 추정의 단점을 극복하기 위해서는 함양량 산정에 있어서 물리기반의 분포형, 또는 준분포형 모형 등 고도화된 수문성분 해석 기법에 의한 방법을 활용하는 것이 바람직하다(Healy, 2010). 하지만 분포형 수문모형을 적용한다 해도 추정된 수문성분인자(증발산, 지표면 유출, 중간유출, 지하수 유출)들의 타당성은 평가되어야만 한다. 따라서 수문성분 추정의 불확실성과 지하수위 변동에 의한 함양량 추정의 불확실성을 정량적으로 평가하는 연구도 시의적절할 것

으로 판단되며, 두 방법을 상호 연계하여 활용하는 방법론의 제시도 기대된다. 그런 측면에서 최근 지하수위 변동법을 개선하고 보완하는 다수의 연구(Park and Parker, 2008; Kim et al., 2013 Yoon et al., 2013)가 진행되는 점은 고무적이다.

## 사 사

본 연구는 국토교통부의 물관리연구사업 “수변충적층 지하수위복원기술 (11기술혁신 C05-2)”의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Andres, G. and Egger, R., 1985, A new tritium interface method for determining the recharge rate of deep groundwater in the Bavarian Molasse basin, *Journal of Hydrology*, 82(1-2), 27-38.
- Arnold, J. G., Muttiah, R. S., Srinivasan R., and Allen, P. M., 2000, Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin, *Journal of Hydrology*, 227(1-4), 21-40.
- Chung, I. M. and Kim, N. W., 2003, Effective management plan of groundwater resources, *Nature Conservation*, 121, 37-42 (in Korean with English abstract).
- Chung, I. M., Kim, N. W., Lee, J. and Sophocleous, M., 2010, Assessing distributed groundwater recharge rate by using integrated surfacegroundwater modeling: Application to Mihocheon watershed, Korea, *Journal of Hydrology*, 18(5), 1253-1264.
- Danish Hydraulic Institute, 1999, MIKE SHE Water Movement User Manual.
- Healy, R., 2010, *Estimating Groundwater Recharge*, Cambridge University, press, 256p.
- Kim, N. W., Kim, Y. J., Chung, I. M., 2013, Development of analyzing model of groundwater table fluctuation (I) : Theory of model, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(6), 2277-2284 (in Korean with English abstract).
- Koo, M. and Kim, Y., 2003, Use of an infiltration model for analyzing temporal variation of precipitation recharge in the climatological environment of Korea, *Journal of the Geological Society of Korea*, 39(2), 249-261 (in Korean with English abstract).
- Koo, M. and Lee, D., 2002, A numerical analysis of the water level fluctuation method for quantifying groundwater recharge, *Journal of the Geological Society of Korea*, 38(3), 407-420 (in Korean with English abstract).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), 1996, Report on the national basic groundwater management plan.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), 2010, Manual on the groundwater basic investigation report and the produce and management of hydrogeologic map (in Korean).



- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2002, Report on the national basic groundwater management plan (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2005a, Report on the basic groundwater investigation - Kwangju region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2005b, Report on the basic groundwater investigation - Incheon region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2005c, Report on the basic groundwater investigation - Chilgok region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2006, Report on the basic groundwater investigation - Seosan region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2007a, Report on the national basic groundwater management plan (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2007b, Report on the basic groundwater investigation - Gumi region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2007c, Report on the basic groundwater investigation - Boryeong region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2007d, Report on the basic groundwater investigation - Sokcho-Goseong region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) and K-Water, 2007e, Report on the basic groundwater investigation - Yangsan region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water, and Korea Rural Community Corporation (KRCC), 2005, Report on the basic groundwater investigation - Kimhae region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Resources Corporation (KRC), 2005, Report on the basic groundwater investigation - Masan-Jinhae region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Rural Community Corporation (KRCC), 2006, Report on the basic groundwater investigation - Yeon-gi region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Resources Corporation (KRC), 2006a, Report on the basic groundwater investigation - Iksan region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Resources Corporation (KRC), 2006b, Report on the basic groundwater investigation - Cheongwon-Cheongju region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Rural Community Corporation (KRCC), 2007a, Report on the basic groundwater investigation - Bucheon-Siheung region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Rural Community Corporation (KRCC), 2007b, Report on the basic groundwater investigation - Anseong region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2005a, Report on the basic groundwater investigation - Kimje region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2005b, Report on the basic groundwater investigation - Shinan region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2005c, Report on the basic groundwater investigation - Hongseong region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2007a, Report on the basic groundwater investigation - Boeun region (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT), K-Water and Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2007b, Report on the basic groundwater investigation - Yesan region (in Korean).
- Park, E. and Parker, J. C., 2008, A simple model for water table fluctuations in response to precipitation, *Journal of Hydrology*, 356(3-4), 344-349.
- Scanlon, B. R., Healy, R. W., and Cook, P. G., 2002, Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, *Journal of Hydrology*, 10(1), 18-39.
- Sophocleous, M., 2000, From safe yield to sustainable development of water resources-the Kansas experience, *Journal of Hydrology*, 235(1-2), 27-43.
- Yoon, H. S., Kim, Y. C., Ha, G., and Kim, K. B., 2013, Application of groundwater-level prediction models using data-based learning algorithms to National Groundwater Monitoring Network data, *The Journal of Engineering Geology*, 23(2), 137-147 (in Korean with English abstract).

**정일문**

한국건설기술연구원 수자원 · 하천연구소  
411-712 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311  
Tel: 031-910-0334  
Fax: 031-910-0251  
E-mail: imchung@kict.re.kr

**김지태**

(주) SDM엔지니어링  
153-708 서울시 금천구 가산디지털1로 212(가산동)  
코오롱디지털타워웨스턴 1510호  
Tel: 02-6959-9588  
Fax: 02-6959-9589  
E-mail: jtkim77777@hanmail.net

**이정우**

한국건설기술연구원 수자원 · 하천연구소  
411-712 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311  
Tel: 031-910-0529  
Fax: 031-910-0251  
E-mail: ljw2961@kict.re.kr

**장선우**

한국건설기술연구원 수자원 · 하천연구소  
411-712 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311  
Tel: 031-910-0278  
Fax: 031-910-0251  
E-mail: chang@kict.re.kr