

## 지형면과 수문지질단위 분류를 이용한 북한의 지하수 부존량 추정

송성호<sup>1</sup> · 박종철<sup>2\*</sup> · 안중기<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국농어촌공사 농어촌연구원

<sup>2</sup>공주대학교 지리정보과학연구소

## Estimation of the Available Amount of Groundwater using Classifications of Landforms and Hydrogeological Units in N. Korea

Sung-Ho Song<sup>1</sup> · Jongchul Park<sup>2\*</sup> · Jung-Gi An<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

<sup>2</sup>Institute of Geographic Information Science, Kongju National University

### ABSTRACT

This study was conducted to provide the preliminary data on preparation for policy decisions regarding the groundwater supply scheme for N. Korea vulnerable to drought. Agricultural activities oriented to upland field due to the mountainous terrain more than 79% as well as the diversity of rainfall distribution over the country make more vulnerable to structural problems in the drought in N. Korea. Therefore, in anticipation of the expansion of exchange policies in agricultural sector, the available amount of groundwater needed for sustainable water resources supply was estimated for each administrative district after analyzing alluvium and hydrogeology distribution in N. Korea. Overall, the available amount of groundwater was estimated to 22.3 billion m<sup>3</sup> (0.18 million m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>). The available amount of groundwater per unit area in Ryanggangdo and Gaesungsi was appeared very high in each of 0.56 and 0.39 million m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, respectively, and it would be interpreted that two districts have relatively wide area of volcanic rocks and alluvium with highly permeable characteristics, respectively. Finally, to maximize the utilization of this study result, the available amount of groundwater distribution map was developed on the basis of the 1 × 1 km grid network over the entire N. Korea.

**Key words :** N. Korea, Drought, Agriculture, The available amount of groundwater, Distribution map

### 1. 서 론

최근 기후변화의 영향으로 빈번하게 발생하는 집중호우와 가뭄은 다양한 산업분야에 큰 영향을 미치고 있다. 이중 농업분야의 경우에는 강수량의 장기 추세, 경년 변동성, 계절 간 변동성의 변화가 장기적으로 농작물의 작부 체계에 직접적인 영향을 줄 가능성이 매우 높다(O'Brien et al., 2004; Song et al., 2013).

실제적인 사례는 2012년 전국적으로 발생한 가뭄에서 볼 수 있다. 그 해에는 전국적으로 봄철 가뭄이 발생하여 6월말에 농촌지역의 전국 평균 지하수위가 1월 대비 0.58 m 하강하였다. 특히 가뭄이 극심했던 충남에서는 같

은 기간 동안의 지하수위가 1.93 m 하강함에 따라 농업활동이 큰 지장을 받은 사례가 있다(Song et al., 2012). 또한 같은 시기 전국적인 저수율은 41%로, 평년 대비 약 19% 감소하여 농업용수 공급에 큰 어려움이 발생했다.

북한의 경우에는 상황이 더욱 심각한데, FAO(2015)는 엘니뇨가 강하게 발생할 때 북한지역에서 평균 이하의 강수량이 내리는 것으로 제시한 바 있으며, 이러한 영향으로 농작물 생산량이 감소되는 것으로 파악하고 있다. 아울러 2015년에는 엘니뇨가 발생할 가능성이 높기 때문에 북한지역의 농작물 수확량은 2013/14년도에 비해 크게 감소할 것으로 추정하고 있다.

북한지역 27개 기상관측지점에서 과거 30년간(1981~

\*Corresponding author : jcp@kongju.ac.kr

Received : 2015. 6. 17 Reviewed : 2015. 7. 11 Accepted : 2015. 9. 1

Discussion until : 2016. 2. 29

2010년) 관측된 연평균 강수량은 919.7 mm이다. 이는 같은 기간의 남한지역 74개 관측지점의 연평균 강수량인 1,349.6 mm의 약 68%에 해당된다. 또한 북한에서는 연평균 강수량의 지역적인 편차가 크다. KMA(2014)에 의하면 연평균 강수량이 가장 많은 지역은 강원도 동해안 장전지역이고, 강수량은 1,519.9 mm이다. 반면 강수량이 가장 적은 지역은 내륙 산지지역인 양강도 혜산지역이고, 강수량은 591.4 mm이다. 북한은 전 국토의 약 79%가 해발고도 100 m 이상의 산지지형이고, 이러한 지형을 중심으로 밭 농업이 발달하고 있다. 그러나 밭 농업 위주의 농업활동은 가뭄이 발생하는 경우 물 공급에 취약한 구조적인 문제가 있다.

북한지역의 전체 연간 수자원 총량은 1,409억  $m^3$ 이며 이 중 약 40%인 556억  $m^3$ 가 이용되고 있다(KRC, 2014). 수자원 이용량 중 지표수는 549억  $m^3$ /년인 반면, 지하수 이용량은 7억  $m^3$ /년으로 전체 수자원 총량의 0.5%를 차지하고 있다. 남한의 지하수 이용량이 37억  $m^3$ /년으로, 전체 수자원 총량인 1,297억  $m^3$ /년의 약 3%인 것을 고려하면 북한의 지하수 이용량은 상대적으로 적은 양이다. 전체적으로 남북한의 수문 총량이 비슷하다는 전제 하에 향후 북한에서 지하수 개발이 충분히 이루어지는 경우 지속 가능한 수자원으로서의 기능을 담당할 것으로 판단된다.

이러한 배경을 가지고 정부의 농업분야 교류 확대 정책에 따른 남북협력사업이 재개되는 경우, 가뭄을 극복하기 위한 농업생산기반 조성 중 수자원 공급 방안의 일환으로 지하수 공급 방안 수립이 우선적으로 필요한 실정이다. 또한 발농사 위주의 농업활동으로 지표수자원 대비 지하수 자원의 필요수량이 상대적으로 높아, 대북사업을 대비한 북한지역의 지하수 부존에 대한 기초 연구가 필요한 실정이다. 그러나 이와 관련된 기초 자료는 매우 부족한 것이 현실이다.

지하수 부존량은 토양 또는 암석의 분포 면적, 대수층 두께 및 공극률 등을 이용하여 추정하는 수량으로(Park, 1996), 양수된 물의 수량과 수질이 시간에 따라 변화하지 않는 평형상태에서 대수층으로부터 연간 지하수 양수량인 지하수 개발 가능량과는 차이가 있다. 그러나 현실적으로 북한 전역에 대한 물수지 분석이 불가능함에 따라, 남한에서 사용하는 지하수 부존량 대비 지하수 개발 가능량 비율을 적용하는 방식의 접근이 북한의 지하수 자원을 이해하기 위한 한 방법이 될 수 있다.

이에 본 연구는 북한지역의 지하수 부존량 분포도를 제시함으로써 북한지역의 지하수 부존 연구를 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 충

적층 대수층의 경우에는 해상도 30 × 30 m 격자망의 DEM 자료를 이용하여 충적층 분포를 추출한 후, 이를 이용하여 지하수 부존량을 계산하였다. 또한 암반 대수층의 경우에는 북한지역의 지질도를 기초로 남한에서 활용 중인 7개의 수문지질단위를 이용하여 지하수 부존량을 추정하였다. 이러한 결과를 종합하여 북한지역 전체를 1 × 1 km 격자망으로 구성한 후, 각 격자에 해당되는 충적층과 수문지질에 대한 지하수 부존량을 계산하여 분포도로 제시하였다.

## 2. 연구 방법 및 자료

### 2.1. 지하수 부존량 평가 방법

본 연구는 북한의 행정구역별 지하수 부존량과 1 × 1 km 격자망별 지하수 부존량을 추정하고자 하였다. 지하수 부존량은 각각의 행정구역과 격자에 분포하는 수문지질별 면적, 수문지질별 평균 두께와 저류계수를 토대로 계산하였다.

북한의 수문지질은 대한지질도(1:1,000,000 축척)의 지질시대별 층서 및 암상을 남한에서 사용하고 있는 8가지 수문지질단위로 재분류하여 작성하였다. 수문지질단위는 지질시대, 암석의 종류, 암상, 지형, 공극의 형태 및 수리지질특성(투수계수, 투수랑계수, 저류계수, 지하수 부존량 등) 등을 기준으로 구분이 가능하다. 남한에서는 대표적인 암석을 기준으로 8가지(변성암, 석회암, 고기 퇴적암, 관입 화성암, 비다공질 화산암, 신기 퇴적암, 다공질 화산암 및 미고결 퇴적암) 수문지질단위로 구분하여 사용하고 있다. 반면 북한의 경우에는 남한에는 분포하고 있지 않은 고생대의 사일루리아기 후기, 대본기 및 신생대 중기 암석이 분포하고, 이러한 특징을 기초로 7가지(변성암류, 관입암류, 쇄설 퇴적암류, 카르스트 탄산암, 제4기 미고결 퇴적암, 제4기 분출 균열암 및 풍화대) 수문지질단위를 사용하고 있다. 본 연구에서는 대한지질도를 수치화하고 남한에서 사용하고 있는 8가지 수문지질단위로 재분류한 후 연구에 활용하였다(Table 1).

수문지질단위 중 지하수 저류계수가 높은 충적층의 분포는 지하수 부존량 결정에 매우 중요한데, 대한지질도는 북한의 충적층 분포를 자세하게 제공하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 북한의 충적층 분포를 추정한 후, 이를 지하수 부존량 산정에 반영하였다.

### 2.2. 충적층 분포 추정 방법

충적층(alluvium)은 퇴적층의 한 종류로 주로 하천의 퇴

Table 1. Geological system of Korea

Geologic age	Symbol	Stratigraphic sequence and lithology
Cenozoic	Quaternary	Q3 Pumice, Marine Sediments
		Q2 Basalt, Trachyte, Volcanic Rocks
		Q1 Basalt, Trachyte
		Qdol Hoeryung Comp.
	Neogene	N Hamgyung Gp., Yeonil Gp.
	Paleogene	Pgr Pongsan Comp., Namsan Granite
Mesozoic	Cretaceous	K3 Yucheon Gp., Jaedok Gp.
		K2 Hayang Gp., Ponghwasan Gp., Neungju Gp., Jinan Gp.
		K1 Sindong Gp., Hanbongsan Gp., Packchon Gp., Pongchonbong Gp., Seson Gp.
		Kgr Amrokgang Comp., Bulgugsa Granite, Hanan Comp.
	Jurassic	Jgr Daebo Granite, Tanchon Comp.
	Jurassic-Triassic	J2 Jasong Gp.
		J1 Daedong Gp.
	Triassic	Tgr Hyesan Comp., Pyunggang Comp.
Paleozoic	Triassic-Permian	P-T Duman Gp.-Pyeongang Gp.
		P Duman Gp.
	Permian -Devonian	PALgr Namgang Comp., Chongjin Comp., Tumangang Comp.
	Carboniferous	C Rimjin Gp.
	Devonian	D-C Rimjin Gp.
	Silurian	S Koksan Fm., Wolyangri Fm., Hoedongri Fm.
	Ordovician	O Great Limestone Gp., Singok Gp., Mandal Gp., Sangsori Gp.
	Cambrian	E Yangduk Gp., Junghwa Gp., Hukgyo Gp., Mujin Gp., Kopung Gp.
Proterozoic	PRgr	Buncheon Granite, Hongjesa Granite, Sanchon Anorthosite, Riwon Comp., Sakju Comp., Pyoksong Comp., Ongjin Comp., Seosan Granitic Gneiss, Yonsan Comp.
		PR3 Sangwon Gp. South type, Kuhyun Gp., Paegryung Gp.
		PR2 Sangwon Gp. North type, Jikhyun Gp., Yeoncheon Gp.,
		PR1 Wonnam Gp., Yulri Gp., Macheollyong Gp., Musan Gp., Hwanhae Gp.
	AR3	Porphyroblastic Gneiss
		AR1 Rangrim Gp., Seosan Gp.
		ARgr Andol Comp., Ryonhwasan Comp.

적작용으로 형성된 퇴적층을 의미한다. 독일에서는 지질 시대의 충적세와 관련하여 이 충적층이 충적세를 대표하는 지층으로 구분되는 경우도 있으나, 각지에서 관찰되는 충적층의 형성 연대가 충적세의 범위를 넘어선 것이 발견되어 현재는 충적세를 대표하는 지층의 의미로는 쓰이지 않는 것이 일반적이다(KGISG, 2004).

충적층의 분포는 현장조사를 통해 파악하는 것이 바람직하지만, 북한은 현장조사가 불가능하기 때문에 본 연구는 지형면 분류를 기반으로 충적층 분포를 추정하였다. 충적층은 하천의 퇴적작용으로 형성되기 때문에 주로 하천과 그 양안에서 평탄지 또는 완경사지의 형태로 나타나는 지형적 특징이 있다. Conacher and Darlymple(1977)은 하천 주변에서 나타나는 지형 기복 0~4° 범위의 평탄한 지형면을 충적 사면으로 분류하기도 하였다. 이에 본 연

구에서는 충적층의 지형적 특징과 기존 연구에 근거하여 하천과 그 양안에서 평탄지 또는 완경사지 형태로 분포해 있는 충적층을 탐지하고자 하였다.

한편 충적층 지역은 농업용수 확보가 용이하기 때문에 농경지, 특히 관개농업지역으로 많이 활용된다. 따라서 지형면 분류와 토지이용도를 함께 고려할 수 있다면 예측 정확도가 더욱 높을 것으로 예상된다. 그러나 북한지역의 토지이용도는 확보가 불가능하기 때문에 본 연구에서는 지형면 분류만을 토대로 충적층 분포를 추정하였다.

대표적인 지형면 분류 방법으로는 Kapos et al.(2000), Weiss(2001), Park(2004)이 제안한 방법이 있다. 이 방법들은 대체로 지형고도, 지형경사, 기복량에 근거하여 지형면을 분류하는 것이 공통점이고, 분류 항목과 세부적인 계산 방식에서는 차이를 보인다. KRC(2014)에 의하면 이

중에서도 분류 유형과 활용 가능한 도구 등을 고려했을 때 Weiss(2001)의 방법이 활용성이 높다고 제안하였다.

Weiss(2001)의 방법은 TPI(topographic position index)와 지형경사를 조합하여 6개 유형(ridges, upper slopes, steep slopes, gentle slopes, lower slopes, valleys)의 지형면을 분류할 수 있다. 국내에서는 Sung(2003), Lee(2010) 등에 의해 지형면을 분류하는 데 적용된 바 있다. 최근 Jenness et al.(2013)에 의해 개발된 ArcGIS 9.3의 확장 도구, Land Facet Corridor Designer를 이용하면 이 방법을 쉽게 활용할 수 있다. 본 연구는 웹에서 무료로 다운로드 받을 수 있는 이 프로그램을 활용하여 지형면을 분류하였다.

지형면 분류 과정에서 TPI는 DEM(digital elevation model)의 중심 격자와 주변 격자의 표고 차이에 의해 결정된다. 이 때 표고 차이는 분석에 이용되는 주변 격자의 범위에 따라 달라질 수 있다. Jenness et al.(2013)은 이 범위를 neighborhood distance라고 명명하였으며, 그 범위에 따라 지형면 분류의 결과가 달라진다고 지적하였다. KRC(2014)는 Land Facet Corridor Designer의 국내 적용 연구에서 150, 300, 500, 1000, 2000 m의 다양한 neighborhood distance를 실험하였으며, Stanski et al.(1989)의 방법으로 정확도를 평가한 결과에 의하면 충적층 추정을 위한 지형면에 2000 m의 neighborhood distance가 적절하다고 제안하였다. 아울러 6개 유형의 지형면들 중 gentle slopes, lower slopes, valleys가 충적층과 연관된 지형면이라고 제안하였다. 이에 본 연구는 2000 m의 neighborhood distance를 이용해 지형면을 분류하고 그 중 gentle slopes~valleys를 충적층 지역으로 추출하였다.

지형면 분류 절차는 Fig. 1과 같다. 본 연구에서는 북한의 충적층 추정에 앞서 남한의 충적층을 추정하고, 그 결과를 1:50,000 지질도(한국지질자원연구원 발간)의 충적층과 비교하여 방법론을 검증하였다. 남한 내 사례지역은 북한의 지형 facet(지형고도+지형경사)<sup>1)</sup>과 유사한 지역으로 선정하였다. 이를 위해 가장 먼저 남한과 북한의 행정구역별 지형 facet을 분석하였다. 다음으로는 북한과 유사한 지형 facet을 보이는 남한 내 행정구역을 사례지역으

1) 지형 facet: facet의 사전적 의미는 측면 또는 양상이고, Jenness et al.(2013)은 토양과 지형을 고려했을 때의 지표 특성을 Land facet이라고 명명하였다. Daly et al.(1994)는 강수량의 공간적 분포에 영향을 주는 다양한 규모(지역적~광역적)의 사면방향을 Topographic facet이라고 명명하였다. 이와 같이 facet은 대체로 두 개 이상의 영향을 종합적으로 고려했을 때의 양상을 일컬을 때 사용된다. 본 연구에서는 지형고도와 지형경사를 고려했을 때의 지형 양상을 지형 facet이라고 명명하였다.

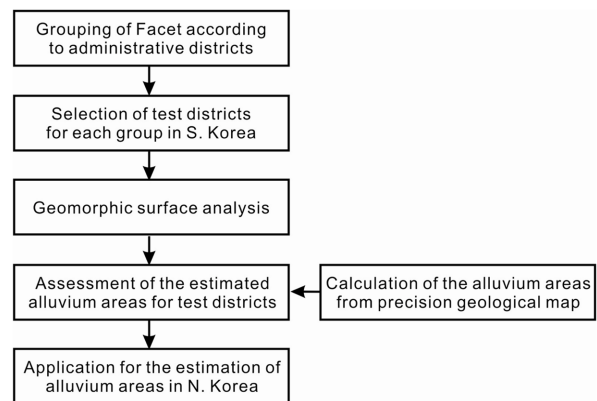


Fig. 1. Procedure for estimating alluvium distribution in N. Korea.

로 선정하였다. 다음은 각 사례지역에 대해 충적층 분포를 추정하고, 그 결과를 지질도와 비교하여 그 결과를 평가하였다. 이 평가 결과는 북한의 충적층을 추정하기 위한 방법론을 정립하는데 활용되었다.

남·북한의 지형면 분류에는 30 × 30 m 공간해상도의 ASTER GDEM(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer global digital elevation model)을 활용하였다. ASTER GDEM은 2009년 6월에 공개된 1차 버전과 2011년 10월에 공개된 2차 버전이 있는데 (<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp>), 본 연구는 2차 버전을 활용하였다. Jang and Baek(2013)에 의하면 국토지리정보원에서 발행한 1:25,000 수치지형도를 이용하여 서울, 부산, 울산, 제주 지역의 GDEM을 평가한 결과 편차 평균이 10 m 이하로, 자료의 품질이 우수한 것으로 나타났다.

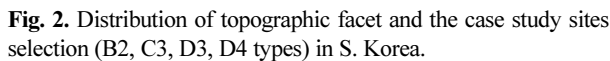
### 3. 연구결과

#### 3.1. 충적층 분포 추정 방법 평가

본 연구는 남한 내 사례 지역을 선정하고, 충적층 추정 방법을 평가하였다. 남·북한의 행정구역별 지형 facet을 분석하면 16개의 유형으로 분류할 수 있다. Table 2는 각 행정구역별 평균 지형경사(300 m 간격)와 지형고도(6° 간격)를 토대로 구분한, 총 16개의 지형 facet을 보여주고 있다. A1에서부터 D4는 지형 facet 유형을 의미하고, 괄호 안의 숫자는 각 지형 facet에 해당하는 북한의 행정구역 수를 의미한다.

북한에는 총 11개 유형의 지형 facet이 있으며, 이 중 상위 4개 유형은 B2(평균 지형고도 300~900 m, 평균 지형경사 6~12°), C3(평균 지형고도 900~1500 m, 평균 지

		Mean elevation (m)			
		< 300	300~900	900~1500	1,500 <
Mean topographic slope (°)	< 6	A1 (21)	A2 (7)	A3	A4
	6~12	B1 (5)	B2 (52)	B3 (3)	B4 (2)
	12~18	C1	C2 (21)	C3 (41)	C3 (15)
	18 <	D1	D2	D3 (31)	D4 (25)



또한 행정구역 면적이 증가할수록 실제 총적층이 전체 행정구역 면적에서 차지하는 비율은 감소하고 있는 반면, 실제 총적층 비율(A)과 추정된 총적층 비율(B) 사이의 차이가 증가하는 경향이 나타났다. 이는 행정구역 면적이 증가할수록 대체로 산지 지역이 증가하는 현상과 연관되어 있는 것으로 판단된다. Fig. 3은 예산군과 춘천시에서 추정된 총적층과 수치지질도의 총적층을 비교한 결과이다. 예산군에서는 Hit (추정과 실제 위치 일치) 지역이 넓게 나타나고 있으며, 평탄지 내의 소구릉 지역들이 주로 Miss(실제 위치를 추정 못함) 지역으로 분류되었다. False

		Topographic facet type (district)			
		B2 (Yesangun)	C3 (Chungjusi)	D3 (Chuncheonsi)	D4 (Hongcheongun)
Total area (km <sup>2</sup> )		542.3	984.1	1,116.4	1,818.7
Alluvium ratio (%)	Map (A)	37.7	17.9	12.0	9.3
	Estimation (B)	48.8	39.0	35.5	32.8
	Error (B - A)	11.1	21.1	23.5	23.5



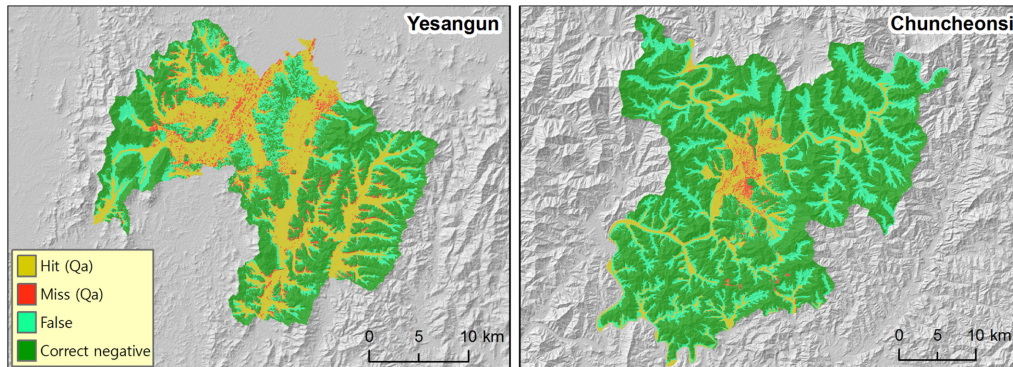


Fig. 3. Comparison between estimated alluvium and alluvium of geological map.

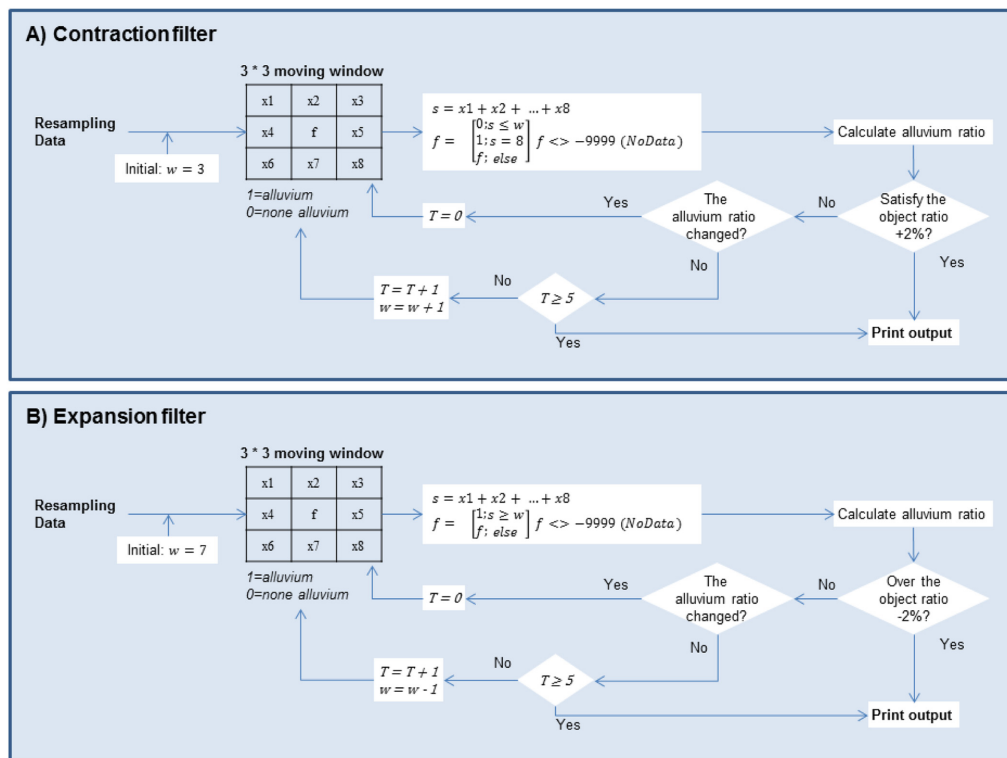


Fig. 4. Conceptual structure of filter for contraction the overestimated alluvium area (A) and filter for expansion the underestimated alluvium area (B).

(실제로는 없는 지역을 있다고 추정) 지역은 주로 산지계곡에서 나타나고 있었다. 지질도에서는 산지계곡에서 충적층이 나타나지 않지만 지형 분류상 gentle slopes는 산지계곡에서도 나타나기 때문에 이 지역들이 False 지역으로 분류되었다. 이와 같은 경향은 춘천시의 사례에서도 확인할 수 있다. 춘천 시내에서 나타나는 소구릉 지역에서 Miss 지역이 분포하고 있으며 산지계곡을 따라 False 지역이 나타남을 확인할 수 있다. 예산군에 비해 산지계곡이 많은 춘천시에서 False 지역이 크게 증가하였고, 이는

앞서 보았던 것과 같이 예산군에 비해 춘천시에서 충적층이 더욱 과대 추정되는 원인이었다.

이러한 추정 오차를 보정하기 위해 본 연구는 GIS 공간필터를 개발하였다. 이 필터는 비주얼 베이직(Visual Basic)으로 구현되어 다른 프로그램에 종속되지 않고 단독으로 실행되며, 입력 자료는 ArcGIS 그리드 아스키 파일(grid ascii file)을 사용한다. 이 파일에는 충적층과 비충적층에 대한 정보가 각각 1과 0으로 입력되어 있다.

Fig. 4(A)는 과대 추정을 보정하기 위한 공간필터의 알

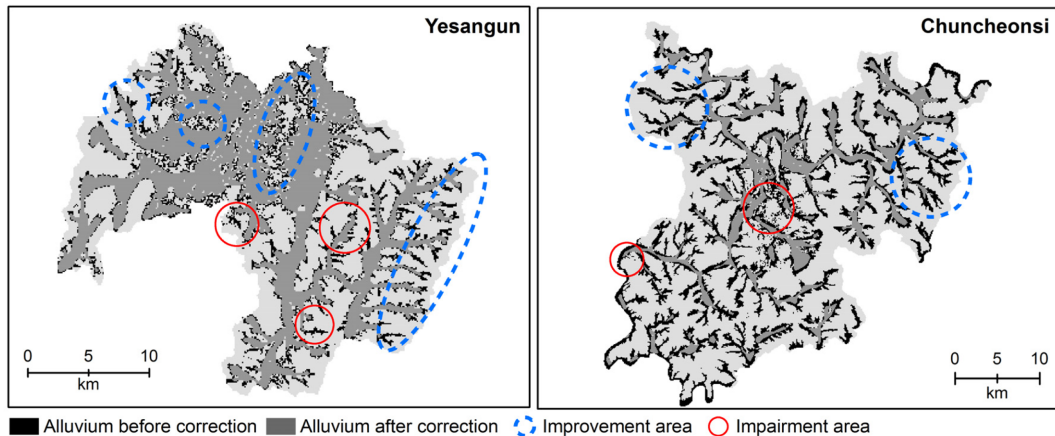


Fig. 5. Area correction before and after estimated alluvium.

고리즘을 보여준다. 이 필터는  $3 \times 3$ 의 이동 창을 이용하여 단일 점상으로 분포하는 충적층 격자를 찾아서 비충적층으로 변환하고, 외곽부터 순차적으로 충적층 분포 지역을 축소하여 과대 추정을 보정한다. 충적층을 비충적층으로 변환하는 작업은 행정구역 면적 대비 추정된 충적층의 면적이 목표 비율(object ratio)의  $\pm 2\%$ 를 만족하거나, 더 이상 변환할 격자가 없을 때까지 반복된다. 목표 비율은 EBP(1990)에서 제시된 북한의 도별 제4기층 면적을 이용하였다. 이 때 원본 자료의 30 m 공간해상도를 100 m 공간해상도로 변환(resampling)한 후 분석을 수행한다. 30 m 공간해상도의 자료에서는 큰 하천 주변의 충적층 분포 지역을 축소하는 주요 원인이었다. 자료의 공간해상도를 100 m로 변환했을 때는 작은 이산지점들이 사라지면서 위와 같은 문제가 발생하지 않았다.

Fig. 4(B)는 과소 추정을 보정하기 위한 공간필터의 알고리즘을 보여준다. 이 필터의 전반적인 흐름은 Fig. 4(A)와 유사하며, 행정구역 면적 대비 보정된 충적층의 면적이 연구자가 지정한 목표 비율의  $-2\%$ 보다 클 때까지 반복적으로 충적층 지역을 확장한다. 이 필터는 북한 지역에서 개성시에 적용되었다.

Fig. 5는 이 공간필터를 예산군과 춘천시에 적용한 결과이다. 예산군에서는 목표 비율을 37.7%로 설정하고 보정을 수행하였으며 그 결과 충적층이 총 면적의 38.5%인 분포도가 생산되었다. 춘천시에서는 목표 비율을 12.0%로 설정하였으며 충적층이 총 면적의 12.7%인 분포도가 생산되었다. 이 결과를 살펴보면 분지와 행정경계 지역에 위치한 하천에서는 충적층이 감소하며 추정 결과가 악화되는 현상이 발생하고 있지만 전반적으로는 산지 계곡의 충적층이 감소하며 추정 결과가 향상되고 있음을 알 수 있다.

### 3.2. 북한의 충적층 분포 추정 및 지하수 부존량 추정

남한의 사례 지역 연구를 통해 지형 분류를 통한 충적층 분류와 공간필터를 활용하여 충적층 분포 지역을 추정할 수 있음을 확인하였다. Fig. 6은 함경북도와 개성시에 대하여 지형 분류 기법을 기반으로 충적층 분포를 추정하고, 공간필터를 적용한 결과이다. 함경북도는 충적층이 실제에 비해 과대 추정된 지역 중 하나이며 개성시는 충적층이 과소 추정된 지역이다.

함경북도를 대상으로 필터링 전과 후의 충적층 추정 분포도를 작성한 결과, 필터 적용 전에는 산지계곡 깊은 곳

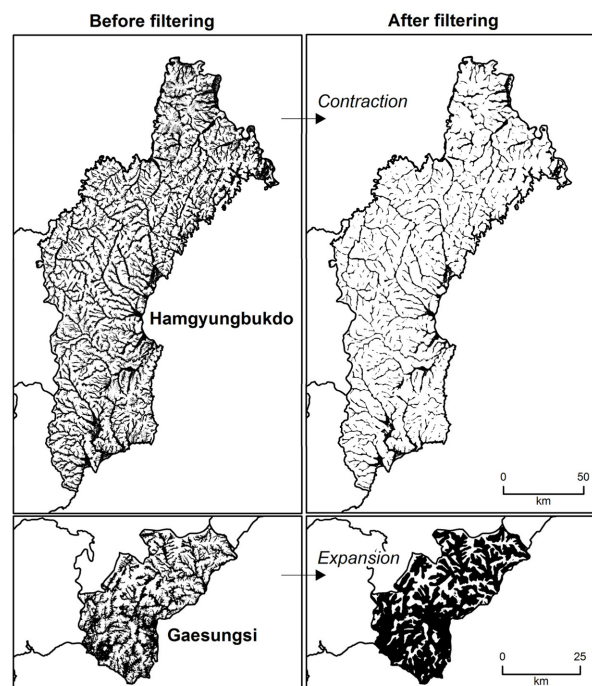


Fig. 6. Distribution of estimated alluvium between before and after filtering.

까지 충적층이 분포할 것으로 추정되었다. 그러나 필터 적용 후에는 주요 하계망을 따라 분포할 것으로 여겨지는 충적층 분포를 잘 추정하고, 하류와 분지에서의 충적층 분포 역시 잘 추정하고 있는 것으로 판단된다. 이는 본 연구에서 개발한 공간분석 필터가 당초의 충적층 추정 분포에서 말단부와 이산되어 있는 지점들을 제거함으로써 충적층의 추정 타당성을 향상시키는 것으로 판단된다. 개성 시에서는 공간필터 적용 전의 충적층이 전체 면적의 42.1%를 차지하는 것으로 추정되었다. 이는 EBP(1990)의 자료의 73.3%에 비해 과소 추정된 것이다. 이에 EBP(1990)의 값을 목표 비율로 설정하여 공간필터를 적용한

결과 충적층이 총 면적의 71.4%를 차지하는 분포도가 생산되었다.

그럼에도 불구하고 함경북도의 사례에서는 하천 하류, 분지 지역, 행정경계를 따라 흐르는 하천에서 추정 결과가 좋지 않았다. 이는 남한의 사례지역 적용 과정에서 볼 수 있었던 충적층 분포 추정의 한계와 유사하다. 공간필터는 충적층 추정 지역을 축소할 때 가장 외곽지역부터 충적층을 점진적으로 제거한다. 이 과정에서 행정구역의 경계를 따라 흐르는 하천지역을 외곽지역으로 인식하기 때문에 이 지역의 충적층이 제거되는 한계가 있었다. 이를 보완하기 위해 북한의 하계망과 충적층 추정 결과를

**Table 4.** Estimated alluvium areas compared to Quaternary deposit area for each administrative district in N. Korea

District	Area (km <sup>2</sup> )*	Area (km <sup>2</sup> )		Ratio (B/A × 100)
		Quaternary deposit (A)*	Estimated alluvium (B)	
Total	122,457.3	16,300.4	18,048.8	110.7
Pyongyangsi	2,629.4	400.0	446.2	111.6
Namposi	828.8	158.2	135.8	85.8
Pyungannamdo	11,866.6	2,128.7	2,284.8	107.3
Pyonganbukdo	12,393.2	2,730.1	2,849.9	104.4
Jagangdo	16,764.7	884.7	1,146.4	129.6
Ryanggangdo	13,888.4	318.5	553.7	173.8
Hamgyungbukdo	16,738.0	1,910.1	2,178.2	114.0
Hamgyungnamdo	18,602.8	1,385.5	1,692.9	122.2
Hwanghaebukdo	8,153.7	1,678.3	1,689.8	100.7
Hwanghaenamdo	8,196.5	2,552.7	2,682.7	105.1
Gaesungsi	1,308.6	959.2	906.1	94.5
Gangwondo	11,086.6	1,194.3	1,482.3	124.1

\* Reference: EBP (1990)

**Table 5.** Mean thickness and storativity for each hydrogeologic unit

Hydrogeologic unit	Thickness (m)	Storage coefficient	Hydrogeologic unit	Thickness (m)	Storage coefficient
Q3	60	0.05050	P-T	35	0.00006
Q2	60	0.05050	P	35	0.00006
Q1	2.8	0.00005	PALgr	35	0.00006
Qa	10	0.05500	C	35	0.00006
Qdol	50	0.00005	S	35	0.00006
N	28.8	0.05001	O	10.1	0.05001
Pgr	50	0.00005	E	35	0.00006
K3	35	0.00006	PRgr	50	0.00005
K2	35	0.00006	PR3	35	0.00006
K1	35	0.00006	PR2	35	0.00006
Kgr	50	0.00005	PR1	35	0.00006
Jgr	50	0.00005	AR3	35	0.00006
J2	35	0.00006	AR1	35	0.00006
J1	35	0.00006	ARgr	7.5	0.00005
Tgr	50	0.00005			



중첩시키고, 하천면 또는 하천과 매우 인접한 지역이 비  
충적층으로 분류된 경우에는 충적층으로 재분류하였다.  
Table 4는 이와 같은 방식으로 추정된 북한의 시군구별  
충적층 면적이다.

북한 지역의 행정구역별 지하수 부존량은 지질도로부터  
추출된 각 수문지질단위와 앞서 추정된 충적층 분포를 토  
대로 산출하였다. 먼저 Table 5와 같은 수문지질별 평균  
대수층 두께와 저류계수를 산정하였는데, 남한과 달리 북  
한의 경우에는 각 수리지질별로 대표적인 지점별로 대수  
층의 두께와 지하수 산출율을 제시하고 있다. 따라서 대  
수층의 두께는 북한과 유사한 남한의 수문지질단위의 경  
우에는 남한에서 제시된 평균 두께를 사용하였으며, 그 이  
외의 수문지질단위는 북한에서 발간된 보고서로부터 추출  
된 수문지질별 및 지역적 대수층 두께를 이용하여 결정하  
였다. 저류계수는 북한 수문지질단위와 유사한 남한의 수  
문지질단위별로 제시된 값들의 평균치를 이용하였다. 지  
하수 부존량은 수문지질별 면적을 고려하여  $1 \times 1 \text{ km}$  격

자별로 산출하였다.

Fig. 7은 본 연구에서 추정된 북한의 지하수 부존량 분  
포도이다. 지하수 부존량이 많은 지역은 량강도의 백두산  
인근 지역과 함경북도, 평안북도, 평안남도, 황해남도 등  
의 하천 하류 지역이다. 개성시는 행정구역 전체에 지하  
수 부존량이 많은 것으로 추정되었다. 량강도에서 백두산  
을 중심으로 지하수 부존량이 많은 지역이 넓게 나타나는  
것은 이 지역에 지하수 부존성이 양호한 화산암이 분포하  
기 때문인 것으로 판단된다. 개성시의 경우에는 저류계수  
가 높은 충적층이 행정구역 전반에 넓게 분포하기 때문인  
것으로 판단된다. 반면에 자강도, 함경남도 및 강원도는  
단위면적 당 지하수 부존량이 낮은 것으로 나타났는데, 이  
는 수문지질단위 중 지하수 부존성이 매우 낮은 결정질  
암석(편마암 복합체 및 화강암)의 면적이 타 지역에 비해  
넓고, 지하수 부존성이 상대적으로 높은 충적층의 면적이  
다른 지역에 비해 상대적으로 좁은 영향이 복합적으로 나  
타난 것으로 판단된다.

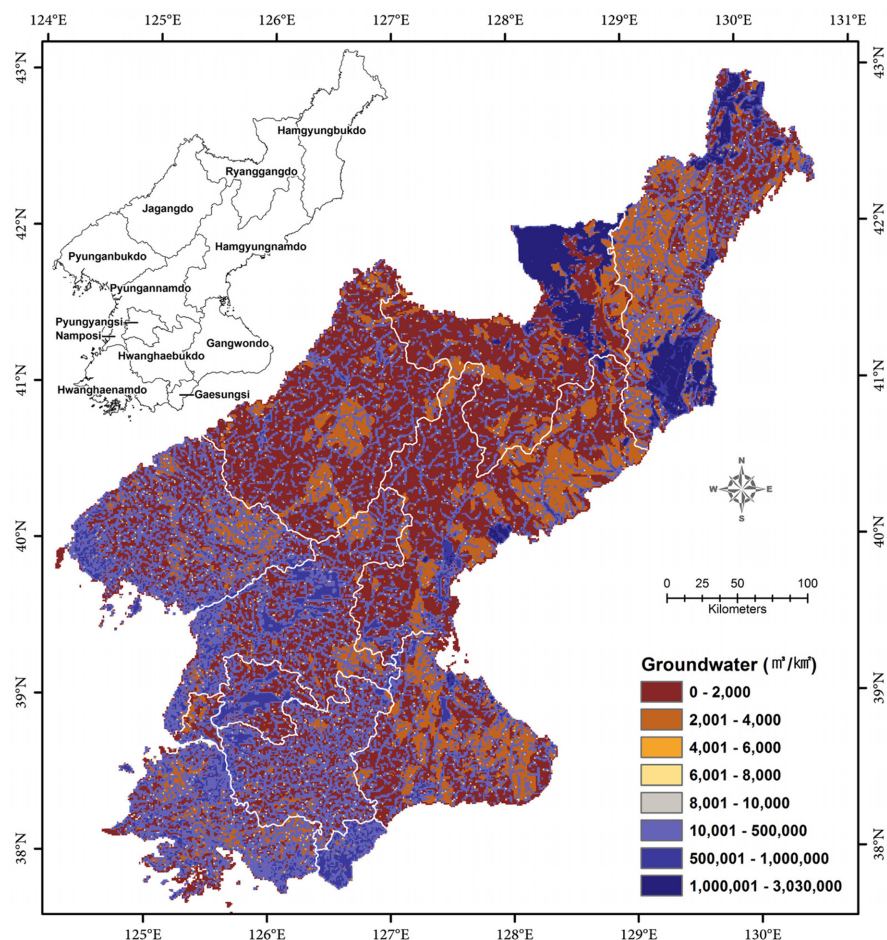


Fig. 7. Map for the estimated available amount of groundwater in N. Korea.

**Table 6.** Estimated available amount of groundwater for each administrative district in N. Korea

District	Area (km <sup>2</sup> )	Estimated available amount of groundwater (m <sup>3</sup> )	Groundwater per unit area (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )
Total	122,457.3	22,323,989,695	182,300.2
Pyongyangsi	2,629.4	451,927,135	171,874.6
Namposi	828.8	78,204,906	94,359.2
Pyungannamdo	11,866.6	1,686,924,150	142,157.3
Pyunganbukdo	12,393.2	1,590,082,352	128,302.8
Jagangdo	16,764.7	739,080,371	44,085.5
Ryanggangdo	13,888.4	7,833,949,996	564,064.3
Hamgyungbukdo	16,738.0	4,595,973,741	274,583.2
Hamgyungnamdo	18,602.8	1,444,662,200	77,658.3
Hwanghaebukdo	8,153.7	1,004,941,521	123,249.8
Hwanghaenamdo	8,196.5	1,457,351,280	177,801.7
Gaesungsi	1,308.6	505,118,574	385,999.2
Gangwondo	11,086.6	935,773,469	84,405.8

Table 6은 각 행정구역별 지하수 부존량을 정리한 결과이다. 북한지역 전체적으로 지하수 부존량은 223.2억 m<sup>3</sup>로 계산되었으며 단위면적 당 부존량은 182,300.2 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>으로 나타났다. 단위면적 당 지하수 부존량이 많은 행정구역은 량강도(564,064.3 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>), 개성시(385,999.2 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>), 함경북도(274,583.2 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>) 순으로 나타났다. 단위면적 당 지하수 부존량이 가장 적은 행정구역은 자강도 44,085.5 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>이다.

#### 4. 결 론

북한은 산지 면적이 약 79% 이상으로 밭 농업의 비중이 높은 반면 지역적으로 강수량 편차가 매우 커, 농업분야에서 가뭄에 특히 취약한 구조적인 문제점을 가지고 있다. 이러한 배경으로 정부의 농업분야 교류 확대 정책과 연관된 남북협력 사업이 활성화되는 경우, 가뭄에 취약한 농업생산기반 조성 중 수자원 공급 방안 수립에 필요한 지하수 공급 방안 수립이 우선적으로 필요하다. 그러나 북한의 특성 상 지하수 부존과 관련된 자료 접근이 불가능함에 따라, 향후 대북사업을 대비한 북한지역의 지하수 부존에 대한 기초 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구는 북한의 총적층 분포를 포함한 수문지질도를 작성하여 지하수 부존량을 추정하였다.

총적층 분포의 추정에는 지형면 분류 방법을 활용하였으며 원시자료로는 공간해상도 30 × 30 m의 DEM을 이용하였다. 방법론적 타당성을 평가하기 위해 남한 내 4개 지역을 대상으로 사례 분석을 수행하였고, 지형면 분류를 기반으로 추정된 총적층은 실제에 비해 그 면적이 과대

추정된다는 것을 확인하였다. 이에 본 연구는 과대/과소 추정된 총적층 분포를 보정할 수 있는 GIS 공간필터를 개발하였고, 사례 지역에 적용하여 이 공간필터가 활용가능하다는 것을 확인하였다. 이와 같은 과정을 통해 수립한 방법론은 북한의 총적층 분포 추정에 활용되었다. 암반 대수층의 경우에는 북한지역 지질도를 수치화한 후, 남한에서 활용 중인 8개의 수문지질단위별로 대표적인 대수층 두께와 저류계수를 이용하여 지하수 부존량을 추정하였다. 마지막으로 북한지역 전체를 1 × 1 km 격자망으로 구성한 후, 각 격자에 해당되는 총적층과 수문지질에 대한 지하수 부존량을 계산하였으며 이를 종합하여 행정구역별 부존량으로 제시하였다.

이 결과 북한지역 전체적으로 지하수 부존량은 223.2억 m<sup>3</sup>, 단위면적 당 부존량은 182,300.2 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>으로 나타났다. 행정구역별 단위면적 당 부존량은 량강도와 개성시가 각각 564,064.3 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>와 385,999.2 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>로 매우 높게 나타났는데, 이는 수리지질 특성 상 지하수 부존성이 양호한 화산암과 총적층의 분포면적이 다른 지역에 비해 상대적으로 높기 때문으로 판단된다. 본 연구에서 제시한 공간해상도 1 × 1 km의 지하수 부존량 분포도는 추후 관련 연구에 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

다만 연구지역의 특수성으로 인하여 지하수 부존량을 추정하는데 활용된 자료들은 다양한 한계점을 가지고 있다. 지형 분류에 기반하여 추정된 총적층 분포 추정 방법은 분지 내의 총적층 분포를 과소 추정하고, 산지계곡의 총적층은 과대 추정 하는 경향이 있었다. 본 연구에서는 이를 보정하기 위한 공간필터를 개발하였지만, 여전히 총적층 분포를 추정하는데 한계가 있었다. 이를 해결하기 위

해 원격탐사와 북한의 수치지형도, 환경부 토지피복도 등 다양한 자료를 활용하는 방안에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 수문지질별 대수층의 두께와 저류계수를 남한에서의 실험 자료와 각종 문헌 자료에 근거하여 결정하였는데, 추후 이를 보완하기 위한 연구도 필요할 것이다.

## References

- Conacher, A.J. and Dalrymple, J.B., 1977, The nine unit land-surface model: An approach to pedogeomorphic research, *Geoderma*, **18**, 1-153.
- Daly, C., Neilson, R.P., and Phillips, D.L., 1994, A statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain, *J. Applied Meteor.*, **33**(2), 140-158.
- EBP (Educational Books Publisher), 1990, *Josun Geography encyclopedia* (N. Korea).
- FAO, 2015, GIWES Conutry Briefs: <http://www.fao.org/gIEWS/countrybrief/country.jsp?code=PRK>
- Jang, D.H. and Baek, S.G., 2013, Constructing Ground Information Database with Ultra- high Resolution for Regional Climate Forecasting, *Clim. Res.*, **8**(1), 67-79.
- Jenness, J., Brost, B., and Beier, P., 2013, *Land Facet Corridor Designer*.
- Kapos, V., Rhind, J., Edwards, M., Price, M.F., and Ravilious, C., 2000, *Developing a map of the world's mountain forests. In Forests in Sustainable Mountain Development: A State-of-Knowledge Report for 2000; Price, M.F., Butt, N., Eds.; CAB International: Wallingford, UK*, 4-8.
- KGISG (Korean Geographic Information Study Group), 2004, *The Dictionary of Physical Geography*, Hanulbooks, 57p.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2014, <http://www.kma.go.kr>
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2014, *Development of techniques for securing groundwater resources considering agricultural activities in DPRK*, 188p.
- Lee, M.B., 2010, A Geomorphic Surface Analysis Using Remote Sensing in DMZ of Chugaryeong Rift Valley, Central Korea, *J. Kor. Geomorphological assoc.*, **17**(1), 1-14.
- O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L., and West, J., 2004, Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in Indis, *Glob. Environ. Change*, **14**, 303-313.
- Park, C.K., 1996, Estimation of the available amount of groundwater in South Korea: 1. Development of the method, *J. Kor. Soc. Groundw. Environ.*, **3**(1), 15-20.
- Park, S.J., 2004, A Geomorphological Classification System to Characterize Ecological Processes over the Landscape, *J. Kor. Geographical Soc.*, **39**(4), 495-513.
- Song, S.H., Choi, K.J., Kim, Y.I., Yi, S.S., Park, K.Y., and Kim, Y.B., 2012, Estimation of groundwater level fluctuation in rural region according to spring drought in 2012, *Proceeding of KoSSGE Spring Conference*.
- Song, S.H., Yoo, S.H., and Bae, S.J., 2013, Regional Drought Assessment Considering Climate Change and Relationship with Agricultural Water in Jeju Island, *J Environ. Sci. Int.*, **22**(5), 625-638.
- Stanski, H.R., Wilson, L.J., and Burrows, W.R., 1989, *Survey of common verification methods in meteorology: chapter 2. common verification methods*, Forecast Research Division, Atmospheric Environment Service, Environment Canada. 18-42.
- Sung, C.J., 2003, A Study on the Analysis of Terrain Element and Terrain Classification Using GIS, *Geographical J. Kor.*, **37**(2), 155-161.
- Weiss, A., 2001, Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation, *ESRI User Conference*, San Diego, CA.