J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 53, No. 7 (2020), pp. 545-555
doi: 10.3741/JKWRA.2020.53.7.545
pISSN 1226-6280
eISSN 2287-6138

A feasibility modeling of potential dam site for hydroelectricity based on ASTGTM DEM data

Jang, Wonjin[a] · Lee, Yonggwan[b] · Kim, Seongjoon[c]*

[a]Integrated Ph.D. student, Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Graduate School, Konkuk University, Seoul, Korea
[b]Ph.D. Candidate, Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Graduate School, Konkuk University, Seoul, Korea
[c]Professor, School of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, Konkuk University, Seoul, Korea

Paper number: 20-048
Received: 20 May 2020; Revised: 2 June 2020; Accepted: 2 June 2020

Abstract

A feasibility modeling for potential hydroelectric dam site selection was suggested using 1 sec ASTGTM (ASTER Global Digital Elevation Model) and Terra/Aqua MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) derived land use (MCD12Q1) data. The modeling includes DEM pre-processing of peak, sink, and flat, river network generation, watershed delineation and segmentation, terrain analysis of stream cross section and reservoir storage, and estimation of submerged area for compensation. The modeling algorithms were developed using Python and as an open source GIS. When a user-defined stream point is selected, the model evaluates potential hydroelectric head, reservoir surface area and storage capacity curve, watershed time of concentration from DEM, and compensation area from land use data. The model was tested for 4 locations of already constructed Buhang, BohyunMountain, Sungdeok, and Yeongju dams. The modeling results obtained maximum possible heads of 37.0, 67.0, 73.0, 42.0 m, surface areas of 1.81, 2.4, 2.8, 8.8 km^2, storages of 35.9, 68.0, 91.3, 168.3×10^6 m^3 respectively. BohyunMountain and Sungdeok show validity but in case of Buhang and Yeongju dams have maximum head errors. These errors came from the stream generation error due to ASTGTM. So, wrong dam watershed boundary limit the head. This study showed a possibility to estimate potential hydroelectric dam sites before field investigation especially for overseas project.

Keywords: ASTGTM, DEM, Hydroelectric dam, MCD12Q1, Site analysis

ASTGTM 전지구 DEM 기반의 수력발전댐 적지분석 사전모델링

장원진[a] · 이용관[b] · 김성준[c]*

[a]건국대학교 일반대학원 사회환경플랜트공학과 석박사통합과정, [b]건국대학교 일반대학원 사회환경플랜트공학과 박사수료,
[c]건국대학교 공과대학 사회환경공학부 교수

요 지

본 연구에서는 해외 수력댐 건설 프로젝트의 사전조사 기초자료 제공을 위하여 댐 위치 결정을 위한 사전적지분석 알고리즘을 개발하고, 위성영상 수치표고자료인 ASTER Global Digital Elevation Model (ASTGTM)과 토지피복자료인 Terra/Aqua combined Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) MCD12Q1를 사용하였다. 사전적지분석 알고리즘은 DEM의 전처리, 하천망생성, 유역분할과 지형정보를 고려한 적지분석과 댐 건설 시 수몰면적에 따른 보상면적 산정 알고리즘을 포함하고 있으며 Python기반의 오픈소스 GIS로 구현되었다. 적지분석은 사용자가 하천 위의 지점을 선택하면, DEM으로부터 낙차, 도달시간, 내용적곡선과 같은 지형정보와 토지피복자료를 통한 보상면적을 기반으로 지점의 적지여부를 평가한다. 분석알고리즘은 국내 부항, 보현산, 성덕, 영주댐을 대상으로 시범적용 됐으며 해당 지점의 가능 최대낙차는 각각 37, 67, 73, 42 m로 나타났으며 최대저수면적은 1.81, 2.4, 2.8, 8.8 km^2 최대저수량은 35.9, 68, 91.3, 168.3×10^6 m^3으로 나타났다. 보현산과 성주 댐에서는 타당성을 보였으나, 부항과 영주 댐의 경우 ASTGTM 에러로 인한 잘못된 하천망과 유역경계로 인해 낙차가 제한됨을 보였다, 본 연구의 결과는 향후 해외 수력댐 사업 진출시 사전분석에서 적지의 지형학적 평가에 도움이 될 것으로 기대된다.

핵심용어: ASTGTM, 수치표고자료, MCD12Q1, 적지분석, 수력발전댐

***Corresponding Author.** Tel: +82--2-450-3749
E-mail: kimsj@konkuk.ac.kr (S. Kim)

© 2020 Korea Water Resources Association. All rights reserved.

1. 서 론

수력발전은 물이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르는 특성을 이용해 물의 유동 및 위치에너지를 전기에너지로 변환하는 것이다. 신재생에너지 중에서도 온실가스 배출량이 가장 적은 청정에너지로 에너지시장 수급불안정, 에너지자원 경쟁심화와 기후변화에 따른 환경개선 방안으로 더욱 관심이 증가하고 있고, 안정적인 기반기술이 확보된 발전방법으로 각국에서 투자가 증대되고 있다(Lee *et al*., 2010). 수력발전을 위해서는 안정적인 유량이 보장되고 댐 건설 시 유역환경에 피해가 적은 부지를 선정해야 한다. 또한, 발전성능의 특성은 지형 및 수문조건에 의해 결정되므로 정확한 입지분석은 필수적이다. 입지분석은 타당성조사 초기단계에 실시하며 유역 내 가능한 모든 댐 위치를 조사 및 평가해 사업의 장애가 적고 경제성이 뛰어난 곳을 선정하는데 많은 시간과 비용이 소모된다(Yi *et al*., 2007; Petheram *et al*., 2017). 따라서, 수력발전을 위한 적지선정에 있어 시간과 비용을 최소화하고 최대의 발전효율을 실현하기 위해서는 수력 댐 건설의 계획, 평가, 구현단계에서 기존의 현장답사나 지형도를 이용한 수작업이 아닌 위성 영상, Geographic Information System (GIS)과 같은 새로운 기술들이 적용되어야만 한다.

먼저 위성 영상의 적용사례를 살펴보면 대기, 해양, 자원, 기상, 지형 등 수많은 분야에서 적용되고 있다. 그중, 영상을 수문, 지형학에 적용한 사례를 살펴보면 해외에서는 1980년대부터 꾸준히 위성영상으로부터 유출모델의 수자원 식별, 수위의 변화관찰, 농촌의 토지 이용 변화 파악, 토양침식과 경사면 추정 등에 사용하였으며(Townshend and Justice, 1988; Al-Khudhairy *et al*., 2002; Mizukoshi and Aniya, 2002; Dudhani *et al*., 2006), 국내에서도 토지피복분류, 강우분포, 지표수분포, 수문모델링, 지형파악 등에 적용되었고 꾸준히 개발되고 있다(Kim and Lee, 2018). 이러한 공간분포자료를 이용하는 GIS를 통한 입지분석에 활용한 사례를 살펴보면, 해외에서는 Gismalla and Bruen (1996)은 개발 도상국의 수력발전 개발에 있어 GIS 사용의 중요성을 강조했으며, Hall (2016)은 GIS를 이용해 미국 전역에 대해 소수력발전 잠재 가능량에 대해 분석하였다. 알프스 협곡내 하천에서 수력발전의 잠재량을 산정하고 물리적, 기술적, 법률적 요소를 고려해 경제성까지 추가 평가한 연구도 수행되었다(Garegnani *et al*., 2018). 수력적지 이외에도 지하수의 수질 적합성 여부, 토지의 식물성장 가능성 평가에도 적용되었다(Suresh *et al*., 2010; Karunanidhi *et al*., 2013; Pulighe *et al*., 2016). 국내에서는 GIS를 활용하여 소수력 개발의 입지분석 모델을 개발한 바 있으나 대부분 매립지와 같은 혐오시설이나 주거지개발, 작물재배의 입지, 적지 산정선정에 집중되어, 수자원 개발에 적지 탐색 기술이 개발 및 적용된 사례가 많지 않다(Yi *et al*., 2007; Lee *et al*., 2000; Kim and Lee, 2006).

따라서 본 연구에서는 위성자료와 적지 산정기술을 이용해 수력댐 적지를 사전탐색할수 있는 모델을 개발 및 적용하고자 한다. 모델의 입력자료로 위성 수치표고자료인 ASTER Global Digital Elevation Model (ASTGTM)와 토지피복자료 Terra/Aqua combined Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)의 MCD12Q1을 사용하며 Python 기반의 오픈소스 GIS로 개발하고자 한다. 해당 모델은 해외 수자원산업 진출 시 유역의 다양한 기초자료를 제공함에 따라 예비타당성조사의 비용과 시간을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 위성자료인 ASTGTM3과 MCD12Q1를 기반으로 댐건설 예정지역의 지형학적 특성과 보상면적 등을 분석 및 산정할 수 있는 사전적지분석 알고리즘을 개발하였다. 두 위성자료 모두 전지구 범위의 자료를 제공하고 쉽게 구축할 수 있어, 추후 해외개발사업에 적용 시 적용가능한 국가에 제한이 없다는 장점이 있다. 개발된 알고리즘 검증을 위해 국내 13년 이후 준공된 4개의 다목적댐(부항, 보현산, 성덕, 영주)을 대상으로 위성자료를 구축하였으며 알고리즘에는 자료를 활용하기 위한 전처리, 하천망생성, 유역분할 등을 포함하고 있다.

2.1 위성데이터 - ASTGTM, MCD12Q1

ASTGTM은 NASA (National Aeronautics and Space Administration)와 일본 경제산업성에서 공동 개발한 위성을 사용하여 구축한 1 sec 공간해상도를 가진 전지구 수치표고모델이다. 연구에서 사용된 Version 3 자료는 2000년 3월 1일부터 2013년 11월 30일의 ASTER Level 1 자료를 조합하여 생성되었으며 북위 83° ~ 남위 83° 범위의 자료를 제공한다. 수치표고자료는 수문학관련 GIS 분야에서 사용되는 격자자료 중 가장 기본적으로 활용되는 자료로, 수문 분석에서 유역경계 및 유역면적 추출, 흐름방향도, 하천망 등을 생성할 수 있다. 생성된 자료들로부터 하천구간별 길이와 경사, 하천단면도, 댐 건설에 따른 수몰지역 파악, 홍수범람지도 등과 같은 요소분석이 가능해, 본 연구에서는 적지 분석에 있어 지형학적 요

Table 1. Land cover type

Name	Value	Description
Evergreen Needle leaf Forests	1	Dominated by evergreen conifer trees (canopy >2m). Tree cover >60%.
Evergreen Broad leaf Forests	2	Dominated by evergreen broadleaf and palmate trees (canopy >2m). Tree cover >60%.
Deciduous Needle leaf Forests	3	Dominated by deciduous needleleaf (larch) trees (canopy >2m). Tree cover >60%.
Deciduous Broadleaf Forests	4	Dominated by deciduous broadleaf trees (canopy >2m). Tree cover >60%.
Mixed Forests	5	Dominated by neither deciduous nor evergreen (40-60% of each) tree type (canopy >2m). Tree cover >60%.
Closed Shrublands	6	Dominated by woody perennials (1-2m height) >60% cover.
Open Shrublands	7	Dominated by woody perennials (1-2m height) 10-60% cover.
Woody Savannas	8	Tree cover 30-60% (canopy >2m).
Savannas	9	Tree cover 10-30% (canopy >2m).
Grasslands	10	Dominated by herbaceous annuals (<2m).
Permanent Wetlands	11	Permanently inundated lands with 30-60% water cover and >10% vegetated cover.
Croplands	12	At least 60% of area is cultivated cropland.
Urban and Built-up Lands	13	At least 30% impervious surface area including building materials, asphalt, and vehicles.
Cropland/Natural Vegetation Mosaics	14	Mosaics of small-scale cultivation 40-60% with natural tree, shrub, or herbaceous vegetation.
Permanent Snow and Ice	15	At least 60% of area is covered by snow and ice for at least 10 months of the year.
Barren	16	At least 60% of area is non-vegetated barren (sand, rock, soil) areas with less than 10% vegetation.
Water Bodies	17	At least 60% of area is covered by permanent water bodies.
Unclassified	255	Has not received a map label because of missing inputs.

소를 고려하기 위해 ASTGTM 자료를 활용하였다. 또한, 댐 건설공사에 있어 용지보상, 환경피해 등과 같은 경제적, 환경적 비용의 과도한 발생을 최소화하기 위해 MODIS의 MCD12Q1 토지피복자료를 사용하였다. 이 자료의 공간해상도는 500 m이며, 토지피복은 Table 1과 같이 17개의 유형으로 구분되어 있다(Sulla-Menashe and Friedl, 2018). 보상면적은 댐 건설 예정지의 반경 1 km와 수몰면적을 대상으로 실시하였다.

2.2 수력댐 적지분석 알고리즘

사용자가 생성된 하천망 위에 댐을 건설하고자 하는 위치를 선택하면 해당 지점을 최종 출구로 하는 유역을 생성하기 위해 다시 유역분할을 실시한다. 이후 댐의 지형학적 특성인 낙차, 내용적곡선, 경사, 도달시간 등을 계산하고 토지피복자료를 바탕으로 댐 건설에 따른 보상면적을 산정한다(Fig. 1).

수력발전용 댐을 건설함에 있어 낙차는 상당히 중요한 요소이다. 적지분석 알고리즘에서는 DEM을 통해 횡단면도낙차, 하천 최원점낙차, 유역경계 월류방지낙차의 세 가지 낙차를 고려한다. 횡단면도낙차는 먼저, 사용자가 입력한 포인트를 기준으로 DEM에 따른 오차를 최소화하기 위해 상류 하천의 흐름방향을 최소 7개를 조회하며 동일한 개수의 흐름 방향

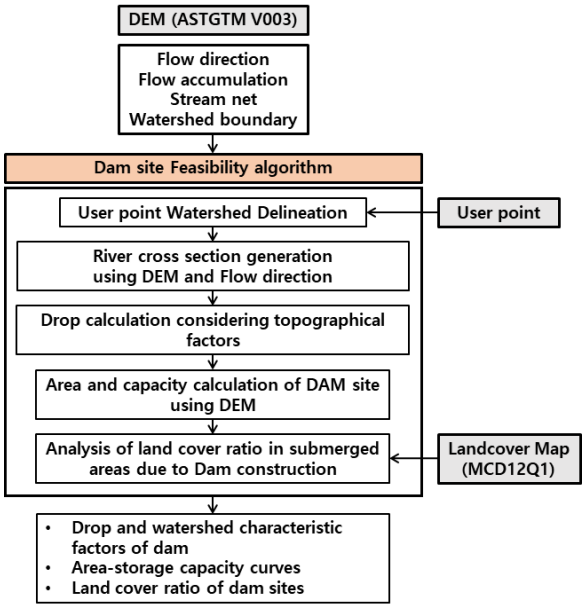


Fig. 1. Flowchart of dam site feasibility algorithm

이 나오지 않을 때까지 2개씩 추가 조회한다. 이후, 주 흐름 방향이 선정되면 흐름 방향의 수직인 교선(intersection line)을

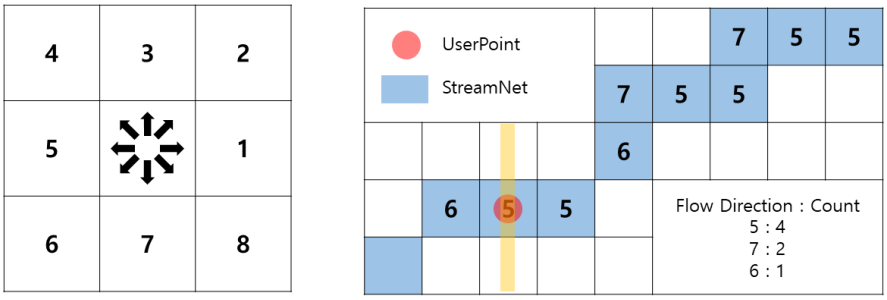


Fig. 2. Intersection line generation

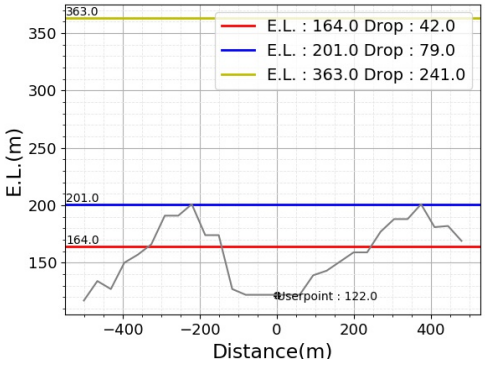


Fig. 3. Stream cross section

생성 하고 교선 아래의 표고 값을 추출하여 하천 횡단면도를 생성한다. Fig. 2는 교선 생성 예제로 하늘색 격자는 하천망을 의미하며 격자안의 숫자는 하천의 흐름방향을 나타내는 숫자이다. 해당 숫자를 이용해 상류의 주된 흐름을 파악하며, 예제 하천의 경우 5 방향의 개수가 4개로 주흐름방향이 5로 선정되었다. 이후 생성된 단면도에서 중심점으로부터 좌우의 변곡점 중에 최대값(극댓값)을 각각 선정하고, 이 중에서 작은 값으로 선정한다. 하천 최원점낙차는 생성된 하천망도에서 하천 최원점의 표고값을 조회하고 사용자가 입력한 지점의 표고와의 차이를 이용해 계산한다. 월류방지낙차의 경우 앞선 두 개의 낙차 중 작은 값을 기준으로 댐 건설을 가정하고 유역 경계에서 표고값들을 조회해 인근 유역으로 월류 되지 않도록 하는 낙차이다. 알고리즘 상에서는 Fig. 3과 같이 하천단면도와 각 낙차에 대해 횡단면도낙차(Geographical Potential Drop, GPD)는 파랑색, 하천 최원점낙차(Potential drop, PD)는 노랑색, 유역경계 월류방지낙차는 빨강색 실선(Overflow Drop, OD)으로 표출한다.

낙차 선정 이후 해당 지점에 수력발전댐 건설 시 경제성과 환경 영향을 평가하기 위해 내용적곡선과 보상면적을 산정한다. 댐 건설의 적지 요건은 지속적인 발전이 가능하도록 많은 양의 수량을 확보하면서 저류에 따른 수몰지역을 최소화되도록 해야 한다. 내용적곡선을 위한 저수면적의 경우 분할된 유역 DEM 자료에서 사용자가 입력한 지점의 표고와 저수위의 합보다 큰 격자를 제외한 유효격자의 개수와 해상도를 곱해 면적을 산정하고, 저수용량의 경우는 유효격자와 저수위를 이용해 격자별 유효저수심을 계산하고, 수위별 저수면적과 유효저수심 총합을 곱해 산정한다(Fig. 4).

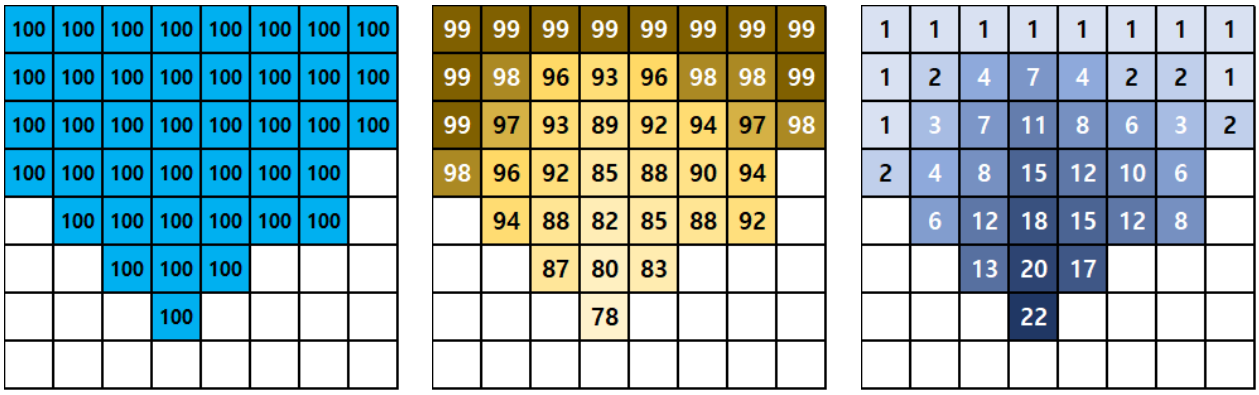
각 저수위별 저수면적과 저수용량 산정이 끝나면, MCD12Q1 토지피복 자료로부터 댐 건설예정지의 식생면적과 보상면적을 산정한다. 면적 산정은 댐 건설예정지 주변 반경 1 km와 수몰지역을 병합한 벡터파일로 토지피복도를 잘라내 각 토지타입별로 비율을 계산한다(Fig. 5).

마지막으로 댐 건설 예정지의 유역특성인자를 DEM과 하천망도를 이용하여 추출한다. DEM을 통해 생성된 하천망도에 각 하천 분기별 하천길이와 양 끝단 간의 표고차, 하천차수 등이 기록되어있으며(Table 2), 해당 자료로 사용자 선택 지점에서 최상류 하천까지의 길이를 계산해 최장 유로 길이를 산정하고 평균 하천 경사와 도달시간을 계산한다. 하천경사는 최장 유료의 시점과 종점 사이의 표고차를 하천길이로 나누어 계산되며, 도달시간은 하천 경사에 따른 Rziha (Eq. (1)) 와 Kraven (I) (Eq. (2))를 사용하여 계산한다. 유역특성인자들은 차후 댐 건설시 제체의 크기, 발전량, 설계홍수량을 산정할 때 사용될 수 있도록 텍스트형식으로 제공된다.

$$T_c = 0.833\frac{L}{S^{0.6}} \left(S \geqq 1/200\right) \tag{1}$$

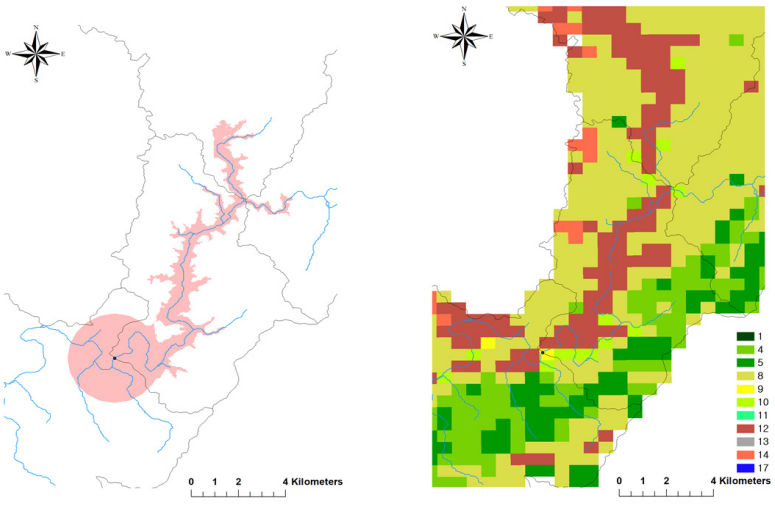
$$T_c = 0.444\frac{L}{S^{0.515}} \left(S < 1/200\right) \tag{2}$$

여기서 T_c는 유역의 도달시간 (min), L은 최장유로의 길이 (m), S는 평균경사 (m/m)이다.



(a) Water surface elevation (b) DEM (c) Effective water depth

Fig. 4. Area and capacity calculation using DEM



LU TYPE	AREA (%)
4	1.12
8	26.70
9	1.20
10	10.39
12	60.59

Fig. 5. Land cover classification

Table 2. Example of stream attribute data at Youngju dam watershed

LINKNO	DSLINK	USLINK1	USLINK2	ORDER	LENGTH (m)	MAGNITUDE	DROP (m)	SLOPE (m/m)	STRATIGHT_L (m)
37	-1	29	21	2	13831.3	3	209	0.015	9116.9
29	37	-1	5	2	6214.1	2	182	0.029	4872.9
21	37	-1	-1	1	31125.4	1	603	0.019	20595.8
5	29	-1	-1	1	4692.3	1	87	0.018	3645.0

2.3 대상유역

본 연구는 적지선정모델의 적용가능성을 평가하고 댐건설 전의 하천특성을 반영하기 위해 ASTGTM의 구축년도(~2013년) 이후 준공된 다목적댐 부항(BH), 보현산(BM), 성덕(SD), 영주(YJ) 유역을 대상으로 알고리즘을 적용하였다(Fig. 6). 이들 4개의 댐 모두 저수, 홍수조절과 발전 등을 위해 건설된 다목적 댐으로, 각각 64.0, 58.5, 58.5, 55.5 m의 높이와 472, 250, 274, 400 m의 폭, 54.3, 22.1, 27.9, 181.1×10^6 m^3의 총저수용량과 0.6, 0.2, 0.2, 5×10^3 kW의 발전시설을 갖추고 있다. 댐의 기타 세부 제원은 Table 3과 같으며 적지분석모델 적용 시 댐이 위치한 지점에 댐이 없는 것을 가정하여 적용하였다.

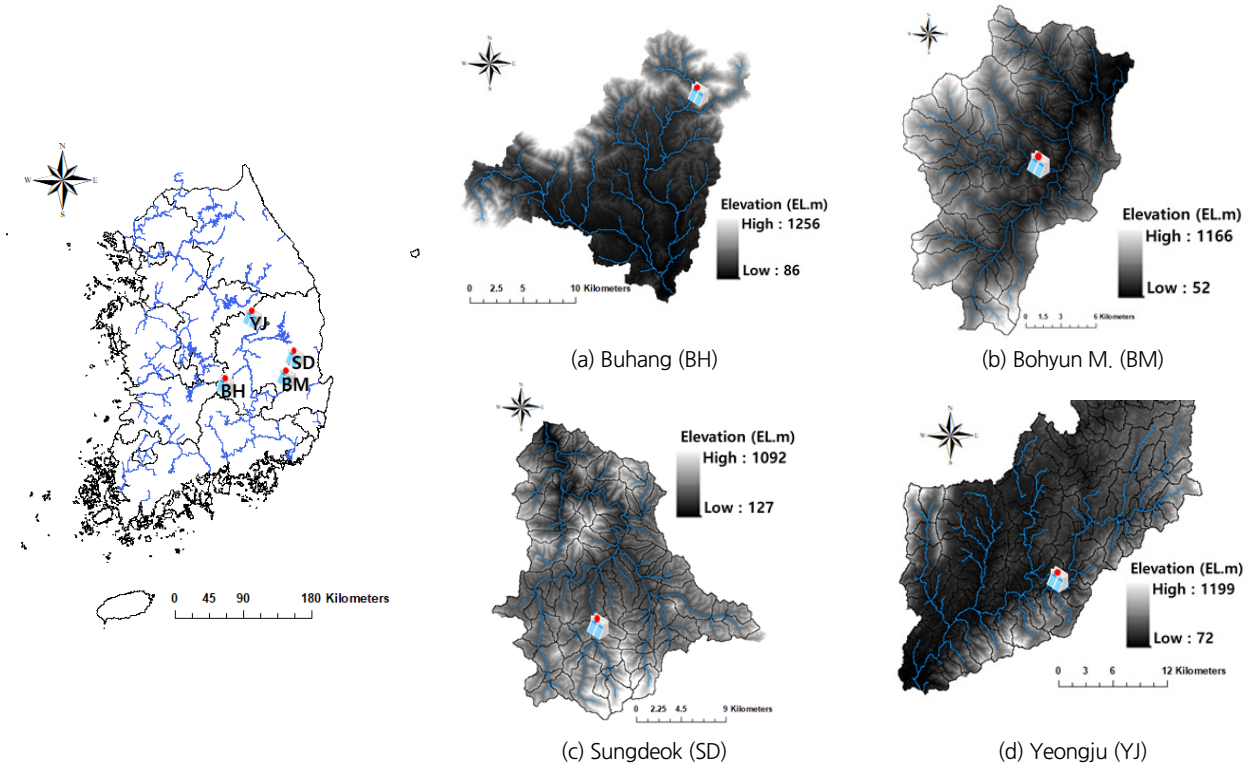


Fig. 6. 4 dam point study area in South Korea

Table 3. Dam specifications for modeling calibration

Specification		DAM			
Type	Unit	BH	BM	SD	YJ
Height	m	64.0	58.5	58.5	55.5
Width	m	472	250	274	400
Top elevation	EL.m	201.4	241.0	368.5	168.0
FPL*	EL.m	198.6	238.5	364.9	164
Watershed area	km^2	82	32.61	41.3	500
Reservoir surface area	km^2	2.57	1.47	1.53	10.4
Total storage capacity	10^6 m^3	54.3	22.1	27.9	181.1
PGC**	10^3kW	0.6	0.2	0.2	5.0
APG***	GWh	3.31	1.4	1.6	15.78

* Flood Planning Level
** Power Generation Capacity
*** Annual Power Generation

3. 결과 및 고찰

3.1 적지분석모델링 결과

연구 대상지역인 부항, 보현산, 성덕, 영주댐 유역에 대하여 수치표고자료(ASTGTM)과 토지피복자료(MCD12Q1)를 구축하고 각 유역별 흐름방향, 흐름누적도, 하천망, 유역도를 생성하였으며 해당 자료를 바탕으로 실제 댐이 위치한 지점의 적지요소를 분석하였고 해당 결과를 실제 댐의 제원과 비교 평가하였다. 먼저, 지점에서 형성된 하천단면도와 낙차 조건을 살펴보면 모든 지점에서 최원점 낙차가 만족하고 있지만,

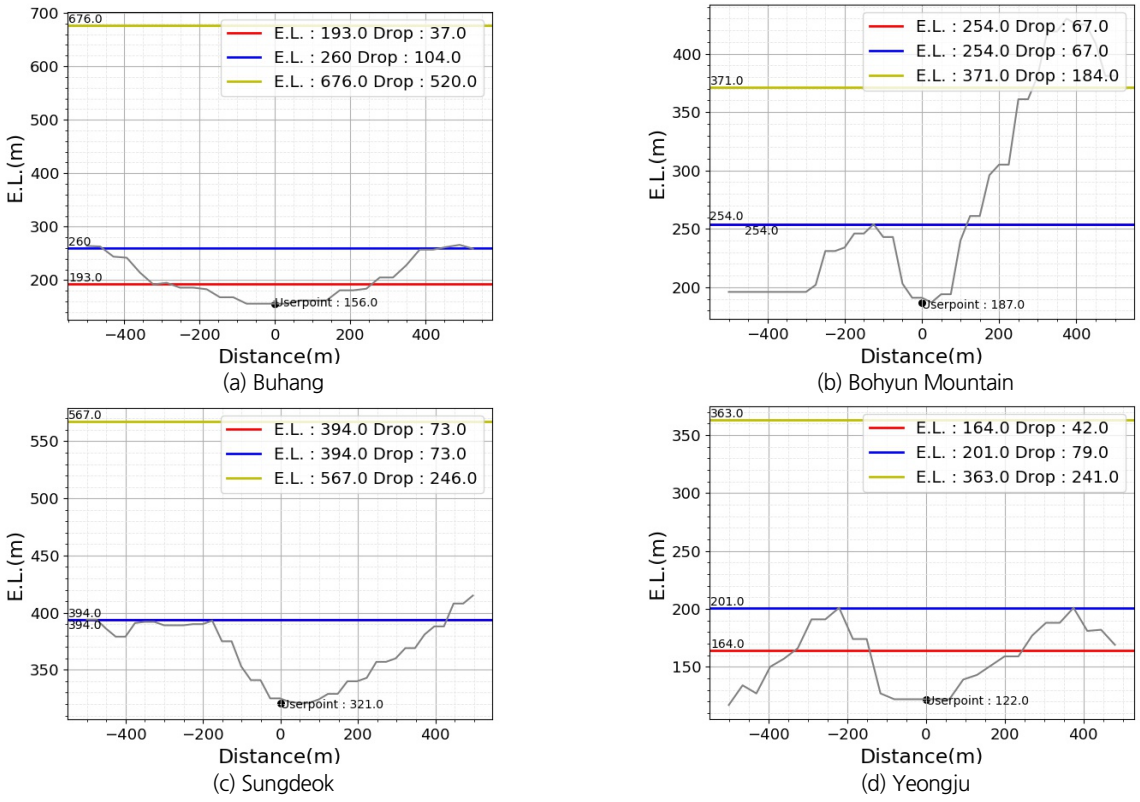


Fig. 7. Model cross section results

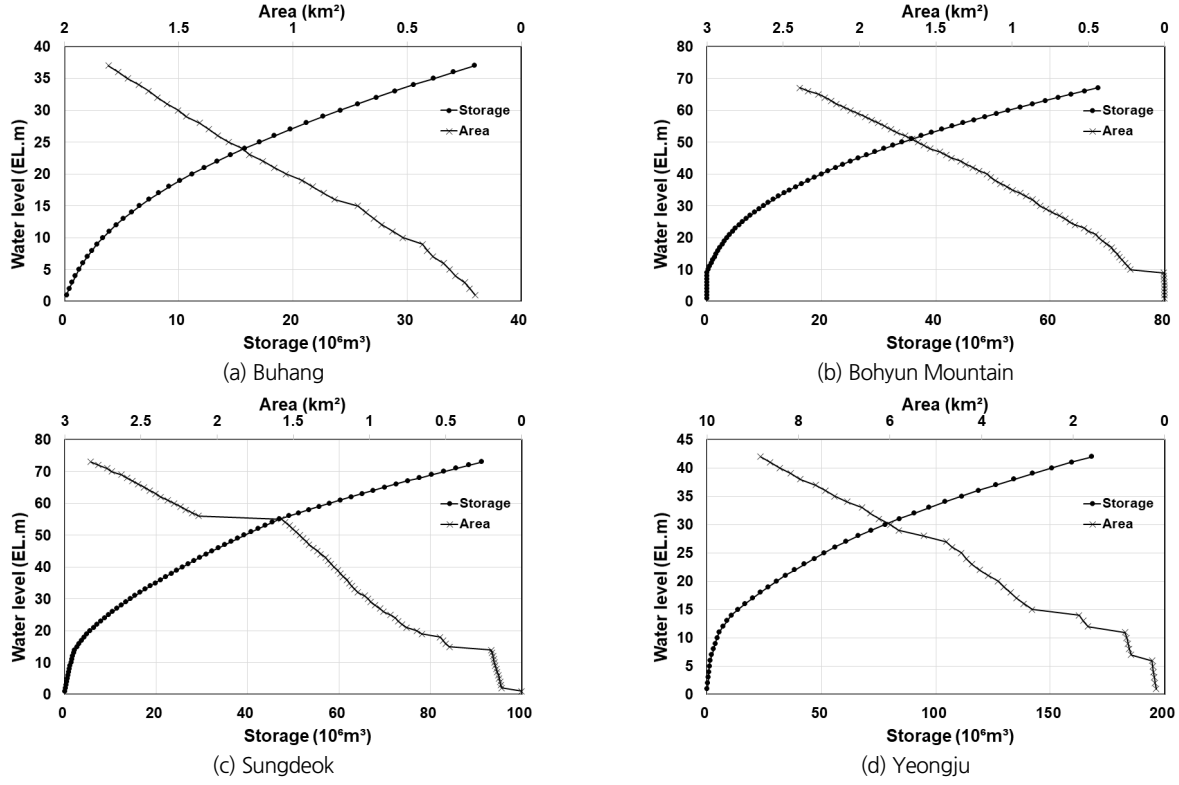


Fig. 8. Model area-storage capacity curves results

Table 4. Dam and basin specification results by hydropower suitability site analysis modeling

Results		Point			
Type	Unit	BH	BM	SD	YJ
Height (H)	m	37	67	73	42
Width	m	566	250	922	420
Top elevation	EL.m	193	254	394	164
Watershed area	km^2	65.68	26.3	32.78	138.5
Reservoir surface area (A)	km^2	1.81	2.4	2.8	8.8
Total storage capacity (V)	10^6 m^3	35.9	68	91.3	168.3
Stream length	m	15,138.74	6,236.81	8,713.66	31,879.02
Submerged stream length (Lss)	m	3978.5	5275.6	5703.1	15555.6
Slope	m/m	0.03	0.02	0.02	0.01
TC*	min	95.32	61.29	72.52	603.16
H/Lss	10^{-3}	9.30	12.70	12.80	2.70
V/A	m	19.86	28.59	32.26	19.06
Land cover	Type : %	4 : 13.29 8 : 33.90 10 : 52.81	4 : 12.63 8 : 87.37	4 : 61.82 5 : 2.05 8 : 36.13	4 : 1.12 8 : 26.7 9 : 1.2 10 : 10.39 12 : 60.59

*Time of Concentration

부항과 영주댐의 경우 각각 지형학적 낙차의 경우 39, 79 m가 나왔지만, 유역경계에서 다른 유역으로 월류가 발생해 낙차가 37, 42 m로 조정되었다(Fig. 7). 알고리즘에서 낙차가 결정되면 해당 높이의 댐 건설을 가정해 각 수위별 저수면적, 저수용량을 계산해 내용적 곡선을 그린다. 저수면적은 각각 최대 1.80, 2.39, 2.83, 8.83 km^2이며 저수용량의 경우 35.89, 68.37, 91.30, 168.27×10^6 m^3으로 산정되었다. 내용적곡선 산정시 저수위의 저수면적과 용량 산정에 있어 다소 기울기가 급변하는 구간이 발생하는데 이는, 위성 DEM에서 하천의 수표면을 지표로 인식해 저수지, 하천과 주변부가 경사가 거의 없는 평야로 인식되어 일정 수위까지는 저수면적이 큰 변화가 없다가 급증하는 것이다(Fig. 8).

모델의 구동시간은 유역면적이 가장 큰 영주댐 기준으로 36초가 소요되었으며 해당 시간은 CPU 8코어 16스레드, 메모리 32Gb 시스템에서 구동한 결과이다.

유역특성인자를 살펴보면 최장유로의 길이(L)는 각각 15,138.74, 6,236.81, 8,713.66, 31,879 m이며, 경사(S)의 경우 0.034, 0.016, 0.022, 0.0055 m/m로 나타났다. 두 정보를 바탕으로 산정된 도달시간(T_c)은 95.32, 61.29, 72.52, 603.16 분이다. H/L_{ss}은 낙차와 수몰하천길이의 비로 값이 클수록 소규모 발전시설에서 해당 하천이 좋은 효율을 나타내며, 각각 9.3, 12.7, 12.8, 2.7×10^{-3} m/m를 보였으며 V/A는 저수용량대비 저수면적으로 값이 클수록 댐을 건설함에 있어 보상금액이나 환경보전에 대한 부담이 감소해 해당 지점이 댐 건설 경제성이 뛰어남을 의미하며 19.86, 28.59, 32.26, 19.06×10^6 m^3/km^2의 값을 보였다. 토지피복의 경우 2011년의 MCD12Q1 자료를 이용해 산정하였으며 대부분 지점이 면적비율 산출결과가 식생면적으로 나타났으나, 영주댐의 경우는 하천 주변 수몰지역 부근에 경작지가 있어 보상면적의 비율이 상당히 높게 나타났다(Table 4).

3.2 댐 제원과 모델 결과 비교

적지선정모델의 결과와 건설된 댐의 제원과 비교 시 부항과 영주의 경우 기존 댐의 높이보다 최대 댐 높이가 낮게 산정되었다. Fig. 7의 부항, 영주의 하천횡단면도 낙차의 경우 기존 댐 건설이 가능하지만(104, 79 m), 해당 높이로 댐을 건설하게 되면 유역경계에 월류가 발생하기 때문에 낙차가 낮게 수정되었다(37, 42 m). 월류가 발생한 지점의 표고 자료를 살펴본 결과 부항, 영주 두 경우 모두 실제 지형의 문제가 아닌 위성 DEM 자료의 문제로 인해 발생하였다. 부항의 경우는 유역경계의 격자 중 한 격자의 값이 잘못되어 발생한 것으로 나타났다(Fig. 9). 영주의 경우는 Fig. 10(a)와 같이 알고리즘에서 생성된 하천이 실제 하천과 다른 방향으로 생성되었고, 그 결과 유역경계가 실존 하천을 가로지르는 형태로 생성되어 낮은 저수

위에서도 해당 경계 부근에서 월류가 발생하여 월류방지낙차 값이 낮게 산정되었다(Fig. 10(b)).

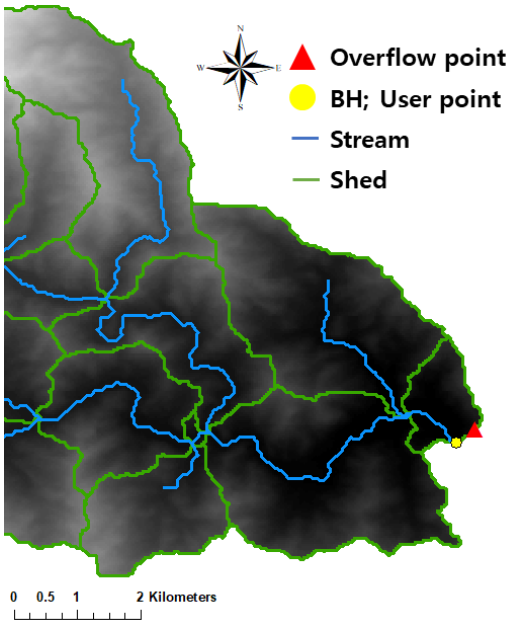
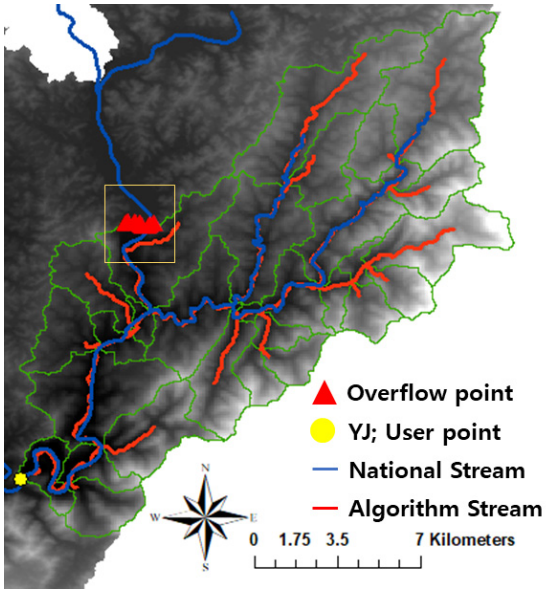


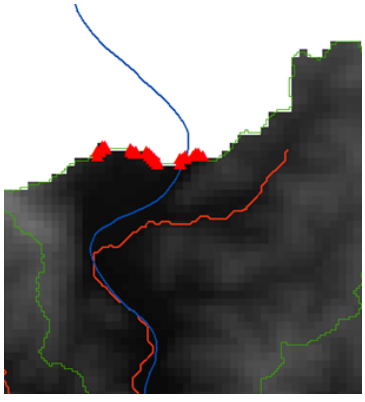
Fig. 9. Overflow point in Buhang shed

기존 댐과 저수면적, 저수용량을 비교해보면 부항과 영주는 저수면적 1.81, 8.8 km^2, 저수용량 35.9, 168.3×10^6 m^3로 기존 댐보다 저수면적 0.76(30%), 1.6(15%) km^2, 저수용량 18.4(34%), 12.8(7%)×10^6 m^3 과소추정되었으며 보현산의 경우 만수위 기준(236 EL.m) 1.7 km^2, 37.5×10^6 m^3 성덕의 경우 만수위 기준(364.9 EL.m) 1.3 km^2, 30.9×10^6 m^3 각각 실존 댐 대비 저수면적 0.11 km^2(14.1%), 0.21 km^2(16%) 저수용량 10.4(69.5%), 3.0(34%)×10^6 m^3의 오차가 발생하였다. 과소추정의 경우는 앞서 언급한 바와 같이 알고리즘상에서 해당 지점의 가능 최대 댐높이가 실존 댐의 높이보다 낮게 추정되거나 DEM상에서 하천이나 호소수의 수표면을 지표면으로 인식해 단면의 형상을 반영하지 못하여 저수용량이 과소추정될 수 있다. 과대추정된 보현산과 성덕의 경우는 DEM의 해상도에 의해 30 m 단위로 값을 입력하고 출력해 길이의 경우는 30 m 면적의 경우는 900 m^2로 단위인식하기 때문에 작은 변화를 과도하게 반영되고, 저수용량의 경우는 앞선 해상도의 영향과 정수 단위의 표고 데이터 형식에 의해 Fig. 11과 같이 실제 저수용량 보다 노란 영역만큼 용량을 과대 추정하는 오차가 발생하였다.



(a) Stream difference national and algorithm results

Source: Author's screenshot of Google Earth from May 15, 2020



(b) Overflow point in Yeongju shed's narrow stream

Fig. 10. Stream line generation error and overflow point in Yeongju

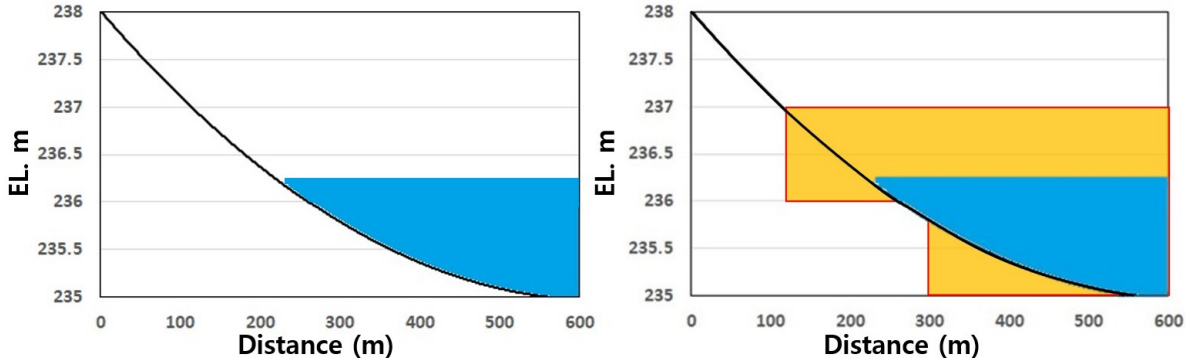


Fig. 11. Storage estimation error due to DEM resolution

4. 요약 및 결론

댐 적지분석 방법의 절차 중 예비 타당성 조사에서 수치지형도, 토지이용도, 토양도 등을 이용한 지형 특성, 인문, 사회 등의 분석을 기반으로 기상 및 수문자료를 이용해 다양한 지점에서의 적지 여부를 판단한다. 하지만 국내 기업의 해외 수력사업 진출에 있어 가장 큰 어려운 점은 위와 같은 기초자료 획득의 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 위성자료인 ASTGTM과 MODIS MCD12Q1 자료를 이용해 지점에서 가능한 댐의 제원과 해당 유역의 특성을 산정하는 알고리즘을 개발하였으며, 적용 결과는 다음과 같다.

먼저 4개 지점(부항, 보현산, 성덕, 영주)에 적용한 결과 하천단면낙차만을 고려한 최대 댐높이는 260, 254, 394, 201 EL.m 로 나타나 기존 높이의 댐 건설이 가능함을 확인하였으나 부항과 영주의 경우 유역경계에서 월류가 발생하는 것으로 확인되어 유역경계 물막이 댐과 같은 별도의 공정이 필요함을 확인하였다. 이후 DEM 격자를 이용한 내용적곡선 및 최연장유로, 평균경사, 도달시간, 유역면적과 같은 유역특성을 산정하였다. 산정결과, 유역특성인자와 내용적곡선을 출력함을 확인하였으나 내용적곡선의 경우 저수위에서 저수면적이 과소추정되는 경우가 있었으며, 저수용량의 경우 기존댐과 비교하면 과대하게 추정되었다. 이에 대한 오차는 DEM의 해상도와 자료형식, 표고기준 등에 의해 발생한 것으로 추정된다.

이와 같이 본 연구에서는 위성영상을 활용하여 가상 지점의 댐 제원과 유역특성을 분석할 수 있었고 이를 통해 지형학적 적지 여부를 확인할 수 있었다. 특히 해외 수력댐 적지 사전분석을 통하여 잠재 최대낙차, 수몰 예상지역 등과 같은 지형학적 기본자료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 한국수력원자력(주)에서 재원을 부담하여 세종대학교 산학협력단에서 수행한 연구결과입니다(No. H18S023000). 본 연구는 환경부의 물관리연구사업(79617)에서 지원받았습니다.

References

Al-Khudhairy, D.H.A., Leemhuis, C., Hoffmann, V., Shepherd, I. M., Calaon, R., Thompson, J.R., Gavin, H., Gasca-Tucker, D.L., Zalidis, G., and Papadimos, D. (2002). "Monitoring wetland ditch water levels using Landsat TM and ground-based measurements." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, No. 8, pp. 809-818.

Dudhani, S., Sinha, A.K., and Inamdar, S.S. (2006). "Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India." *Energy policy*, Vol. 34, No. 17, pp. 3195-3205.

Garegnani, G., Sacchelli, S., Balest, J., and Zambelli, P. (2018). "GIS-based approach for assessing the energy potential and the financial feasibility of run-off-river hydro-power in Alpine valleys." *Applied Energy*, Vol. 216, pp. 709-723.

Gismalla, Y.A., and Bruen, M. (1996). "Use of GIS in reconnaissance studies for small-scale hydropower development in a developing country: A case study from Tanzania." *Hydro GIS '96: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management*, IAHS Publ, Vienna, Austria, No. 235, pp. 307-312.

Hall, D.G. (2006). *Feasibility assessment of water energy resources of the United States for new low power and small hydro classes of hydroelectric plants*. Technical Report, DOE/ID-11263DOE/ID-11263, Department of Energy, United States. pp. 24-35.

Karunanidhi, D., Vennila, G., Suresh, M., and Subramanian, S.K. (2013). "Evaluation of the groundwater quality feasibility zones for irrigational purposes through GIS in Omalur Taluk, Salem District, South India." *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 20, No. 10, pp. 7320-7333.

Kim, S.J., and Lee, Y.G. (2018). "Present status and future prospect of satellite image uses in water resources area." *Korean Journal of Ecology and Environment*, Vol. 51, No. 1, pp. 105-123.

Kim, T.J., and Lee, G.S. (2006). "The site analysis for crop cultivation using GIS-based AHP method." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 4D, pp. 695-702.

Lee, G.B., Byun, D.G., and Kim, J.G. (2010). "Activation strategy of hydropower development as new & renewable energy." *KIEE Summer conference call*, The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 1231-1232.

Lee, J.D., Yeon, S.H., and Kim, S.G. (2000). "A case study on suitability analysis of solid waste landfill site utilizing GIS." *Journal of the Korean Association of Geographic information studies*, Vol. 3, No. 4, pp. 33-49

Mizukoshi, H., and Aniya, M. (2002). "Use of contour-based DEMs for deriving and mapping topographic attributes." *Photo-grammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, No. 1, pp. 83-93.

Petheram, C., Gallant, J., and Read, A. (2017). "An automated and rapid method for identifying dam wall locations and esti-mating reservoir yield over large areas." *Environmental Modelling & Software*, Vol. 92, pp. 189-201.

Pulighe, G., Bonati, G., Fabiani, S., Barsali, T., Lupia, F., Vanino, S., Nino, P. Arca, P., and Roggero, P.P. (2016). "Assessment of the agronomic feasibility of bioenergy crop cultivation on marginal and polluted land: A GIS-based suitability study from the Sulcis area, Italy." *Energies*, Vol. 9, No. 11, p. 895.

Sulla-Menashe, D., and Friedl, M.A. (2018). User guide to collection 6 MODIS land cover (MCD12Q1 and MCD12C1) product, accessed 15 May 2020, <http://icdc.cen.uni-hamburg.de/fileadmin/user_upload/icdc_Dokumente/MODIS/mcd12_user_guide_v6.pdf>.

Suresh, M., Gurugnanam, B., Vasudevan, S., Dharanirajan, K., and Raj, N.J. (2010). "Drinking and irrigational feasibility of groundwater, GIS spatial mapping in upper Thirumanimuthar sub-basin, Cauvery River, Tamil Nadu." *Journal of the Geological Society of India*, Vol. 75, No. 3, pp. 518-526.

Townshend, J.R. and Justice, C.O. (1988). "Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 9, No. 2, pp. 187-236.

Yi, C.S., Kim, K.H., Lee, J.H., and Shim, M.P. (2007). "Location analysis for developing small hydropower using geo-spatial information system." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 40, No. 12, pp. 985-994.