

# GIS 기반의 하천망분석도 집수구역 자동 분할을 위한 알고리즘 및 모듈 개발\*

박용길<sup>1</sup> · 김계현<sup>1\*</sup> · 유재현<sup>1</sup>

## GIS based Development of Module and Algorithm for Automatic Catchment Delineation Using Korean Reach File\*

Yong-Gil PARK<sup>1</sup> · Kye-Hyun KIM<sup>1\*</sup> · Jae-Hyun YOO<sup>1</sup>

### 요 약

최근 환경에 대한 국민적 관심이 증대되고 있으며 물환경 관련 문제에 대한 신속하고 정확한 대응을 위해 GIS를 활용한 물환경데이터의 분석에 대한 지원요구가 증가함에 따라 물환경데이터의 공간분석을 지원하는 공간네트워크 데이터기반의 하천망분석도를 개발하여 제공하고 있다. 그러나 오염사고 등 사용자의 필요에 따라 수시로 요구되는 공간자료인 집수구역의 분할에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수치표고모델 및 흐름방향도를 이용한 집수구역 자동 분할 알고리즘 및 모듈 개발을 포함하는 자동분할 프로그램의 개발이 이루어졌다. 집수구역 자동분할 프로그램의 개발은 집수구역 분할 방법 설계, 알고리즘 개발, 모듈 개발의 순서로 진행하였다. 집수구역 분할을 위해 수치표고자료와 이를 기반으로 제작된 흐름방향도를 활용하였다. 집수구역 분할을 위한 알고리즘은 집수구역 격자추출단계, 경계점 추출단계 및 경계선 분할 단계의 3단계로 개발되었으며 집수구역 분할모듈은 프로그램의 생산성과 활용성을 고려하여 ESRI사의 ArcGIS를 기반으로 하는 Add-in 모듈로 개발하였다. 집수구역 자동분할 모듈을 이용하여 실제 집수구역을 분할하였으며, 현재 활용중인 집수구역과 비교 분석하였다. 집수구역 분할 결과 수치표고자료 기반의 집수구역 분할이 원활하게 이루어지는 것을 확인하였다. 특히 지형학적 경사가 명확한 지역은 집수구역의 분할이 정확하고 신속하게 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 논, 밭, 도심지역 등 평평한 곳이나 배수시설이 정비된 지역의 경우 집수구역의 분할이 이루어지지 않는 경우가 있었으나 전반적으로 기존 집수구역의 분할시간을 줄이는데 기여가 클 것으로 판단되었다. 향후에는 보다 정밀한 수치표고자료의 활용이 가능하면서 자료 크기로 인한 계산 시간을 줄이기 위한 알고리즘의 개발이 필요하다.

**주요어** : 하천망분석도, 지리정보시스템, 집수구역 자동 분할, 수치표고모델, 흐름방향도

2017년 11월 30일 접수 Received on November 30, 2017 / 2017년 12월 21일 수정 Revised on December 21, 2017 / 2017년 12월 27일 심사완료 Accepted on December 27, 2017

\* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(17AWMP-B079625-04)에 의해 수행되었음.

1 인하대학교 공간정보공학과 Dept. of Geoinformatic Engineering, Inha University

\* Corresponding Author E-mail : kye Hyun@inha.ac.kr

## ABSTRACT

Recently, the national interest in environment is increasing and for dealing with water environment-related issues swiftly and accurately, the demand to facilitate the analysis of water environment data using a GIS is growing. To meet such growing demands, a spatial network data-based stream network analysis map(Korean Reach File; KRF) supporting spatial analysis of water environment data was developed and is being provided. However, there is a difficulty in delineating catchment areas, which are the basis of supplying spatial data including relevant information frequently required by the users such as establishing remediation measures against water pollution accidents. Therefore, in this study, the development of a computer program was made. The development process included steps such as designing a delineation method, and developing an algorithm and modules. DEM(Digital Elevation Model) and FDR(Flow Direction) were used as the major data to automatically delineate catchment areas. The algorithm for the delineation of catchment areas was developed through three stages; catchment area grid extraction, boundary point extraction, and boundary line division. Also, an add-in catchment area delineation module, based on ArcGIS from ESRI, was developed in the consideration of productivity and utility of the program. Using the developed program, the catchment areas were delineated and they were compared to the catchment areas currently used by the government. The results showed that the catchment areas were delineated efficiently using the digital elevation data. Especially, in the regions with clear topographical slopes, they were delineated accurately and swiftly. Although in some regions with flat fields of paddles and downtowns or well-organized drainage facilities, the catchment areas were not segmented accurately, the program definitely reduce the processing time to delineate existing catchment areas. In the future, more efforts should be made to enhance current algorithm to facilitate the use of the higher precision of digital elevation data, and furthermore reducing the calculation time for processing large data volume.

**KEYWORDS** : *Korean Reach File, GIS, Catchment Automatic Delineation, Digital Elevation Model, Flow Direction*

## 서론

최근 환경에 대한 국민적 관심이 증대되고 있으며 관련 기관에서는 먹는 물의 안전한 공급을 위해 하천 유역의 종합적인 관리를 위한 정책을 추진해왔다. 이러한 정책과 관련하여 물환경 관련 문제에 대한 신속하고 정확한 대응을 위해 GIS를 활용한 물환경데이터의 분석에 대한 지원요구가 증가함에 따라 물환경데이터의 공간분

석을 지원하는 공간네트워크 데이터기반의 자료구조가 요구되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 미국의 EPA는 리치파일을 개발하여 수질관리의 체계 마련을 위한 기초 데이터베이스로 활용하고 있다. 리치파일은 미국 지표수의 지리학적 데이터베이스로, Reach 별 고유 코드와 다양한 속성정보 및 위·경도를 이용한 경로 검색(Navigation) 등의 정보를 제공하고 있다(Horn *et al.*, 1994; Beer *et al.*, 2004).

하천의 공간적 특성을 반영한 GIS 기반의 데

이터 분석과 이를 활용한 업무지원의 요구가 증대됨에 따라 국내에서는 미국의 리치파일을 참고하여 하천의 상·하류 위상관계, 흐름특성과 같은 하천의 공간적 특성이 반영된 하천망분석도(Korean Reach File, KRF)를 개발하여 환경과학원을 통해 제공하고 있다(Song *et al.*, 2016). 하천망분석도는 하천 네트워크 기반의 공간자료로써, 고유식별코드(Unique Feature Identifier, UFID)와 다양한 속성정보를 이용하여 동일한 수리학적 특색을 가지는 구간(Reach)에 대한 위치정보 기반의 수리학 데이터베이스이다(Yoo, 2014).

하천망분석도의 구성요소 중 선형 공간자료인 Reach는 공간객체별 고유식별코드(UFID)를 이용하여 선형참조가 가능한 수리학적 연결 구조로 되어 있으며, 유역 배수의 분기 패턴을 대표하고 있다(De Jager and J.V. Vogt, 2010). 여기서 Reach란 하천의 특성에 따라 특정 기준의 분기점에 의해 분할된 구간을 의미하며, Reach 분기점은 하천의 합류지점, 집수구역의 경계, 오염원의 유입지점, 지형학적 유사도 등에 따라 결정된다. 그리고 이러한 각 Reach에 대한 수질관리를 위하여 GIS 기반의 도형자료를 구축하고, 속성정보(Attribute)와 위상정보(Topology)가 함께 저장되어있다(Lee, 2011).

현재 4대강 및 일부 기타 수계를 대상으로 특정한 임의 기준에 따라 하천 구간을 정의하였으며, 하천 구간 시종점 및 분할지점에 관한 점형자료, 하천 흐름을 나타내는 하천구간에 관한 선형자료, 각 하천 구간의 집수범위를 나타내는 집수구역에 관한 면형자료가 구축되어 있다(Lee *et al.*, 2014). 하천망분석도(KRF)는 대한민국 전 지역에 대하여 2015년 KRF Version 3 기준으로 총 하천 개수 3,838개, 29,868km를 구축하였으며, 총 면적 110,108km<sup>2</sup>가 구축되어 있다(NIER, 2013).

하천망분석도는 속성자료 설계를 통한 수질모의 지원(Kwon *et al.*, 2012), 1차원 수질모델 모식도 자동 생성 알고리즘 개발(Park *et al.*, 2013), 수질오염총량관리제 (Total Maximum Daily Load, TMDL) 계획수립 지원(Lee *et al.*,

2014), 하천망분석도 기반 수리정보 구축을 통한 지류지천 수질오염사고대응예측모형 지원(NIER, 2013), 수생태계 건강성 통합정보 분석을 위한 GIS DB 구축(Jo *et al.*, 2013) 등 다양한 연구 및 실무에 활용되어 왔다. 하천망분석도의 Reach는 선형자료로 하천에서의 흐름분석이나 연결 관계를 통한 물질이동 경로 탐색 등의 분석에는 용이하나 하천의 수리적 특성을 고려한 영향권 분석이나 포함관계를 정의하기 어려운 한계가 있다. 유역경계 중 가장 작은 유역단위인 표준 유역도 복수개의 Reach를 포함하고 있어 일대일 자료 연계가 어려운 실정이다. 이에 하천망분석도는 표준 유역보다 더 작은 공간 개념인 Reach를 기준으로 하는 집수구역을 분할하여 면형자료로 사용한다. 또한 수질오염 사고 발생 시 오염물질의 발생 원인을 추적하기 위해 사고 발생 지점을 기준으로 하는 집수구역의 분할이 수시로 요구되고 있다. 집수구역을 분할하기 위한 도구로서 ArcHydro는 많은 기관에서 널리 사용되고 있는 ArcGIS 기반 모듈이다. 그러나 ArcHydro는 강우의 집수량에 따른 집수구역의 자동정의를 수행하기 때문에 사용자 정의의 집수구역 분할을 지원하지 않아 수질사고 등의 특정 사건에 대한 신속한 대응이 불가능한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 집수구역의 보다 효율적 분할을 위해 집수구역 자동분할 알고리즘을 설계하고 하천망분석도를 활용한 집수구역 자동분할 모듈을 개발하였다. 일반적으로 집수구역의 분할은 인문학적, 지형학적 요건을 고려하여 분할되어야 하나 수질사고의 신속한 대응을 위해서는 자동분할을 이용한 빠른 집수구역의 분할이 가능하도록 개발하였다. 집수구역 자동분할 모듈을 개발하기에 앞서 집수구역 분할에 필요한 자료를 수집하였으며, 이를 이용한 집수구역 분할 알고리즘 설계를 수행하였다. 본 연구의 설계안을 바탕으로 널리 사용되고 있는 공간자료 분석 프로그램인 ArcGIS Add-In 기반의 모듈을 개발하고 집수구역 분할을 수행하였으며, 그 결과를 분석 및 고찰하였다.

## 연구 방법

집수구역은 비가 내렸을 때 빗방울이 모여 흘러드는 지역을 의미하며, 지형의 영향을 가장 크게 받는다. 집수구역을 분할하기 위해서 지형을 모델링하여 형상을 나타내는 공간자료의 활용이 필수적이며 본 연구에서는 국토지리정보원에서 제공하는 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)을 활용하였다. 수치표고모델이란, 지형의 고도 값을 수치로 저장함으로써 지형의 형상을 나타내는 자료이다. 수치표고모델은 자료 자체로서 경사도, 경사방향, 지형 분석 등이 가능하다.

흐름방향도(Flow Direction, FDR)는 수치표고모델을 기반으로 위치의 고저차를 반영하여 물의 흐름 방향을 정의한 지도이다. 방향흐름도는 격자구조의 자료이며, 각 격자에는 방향을

의미하는 8개의 숫자가 각각 저장되어 있다. 저장 공간을 효율적으로 활용하기 위해 8개의 방향 값은 2<sup>n</sup> 형태로 저장되어 있다. 그림 1은 각 방향 값이 의미하고 있는 물의 흐름방향을 나타내며, 그림 2는 수치표고모델을 이용하여 남한강 유역의 흐름방향도를 제작한 예시이다. 집수구역 자동 분할은 흐름방향도를 이용하여 수행하였다.

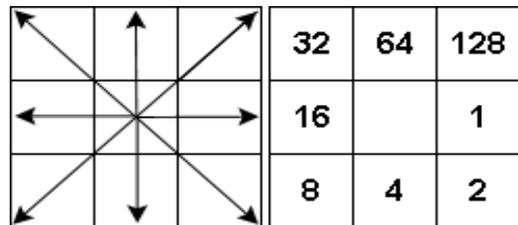


FIGURE 1. Example of flow direction and grid value

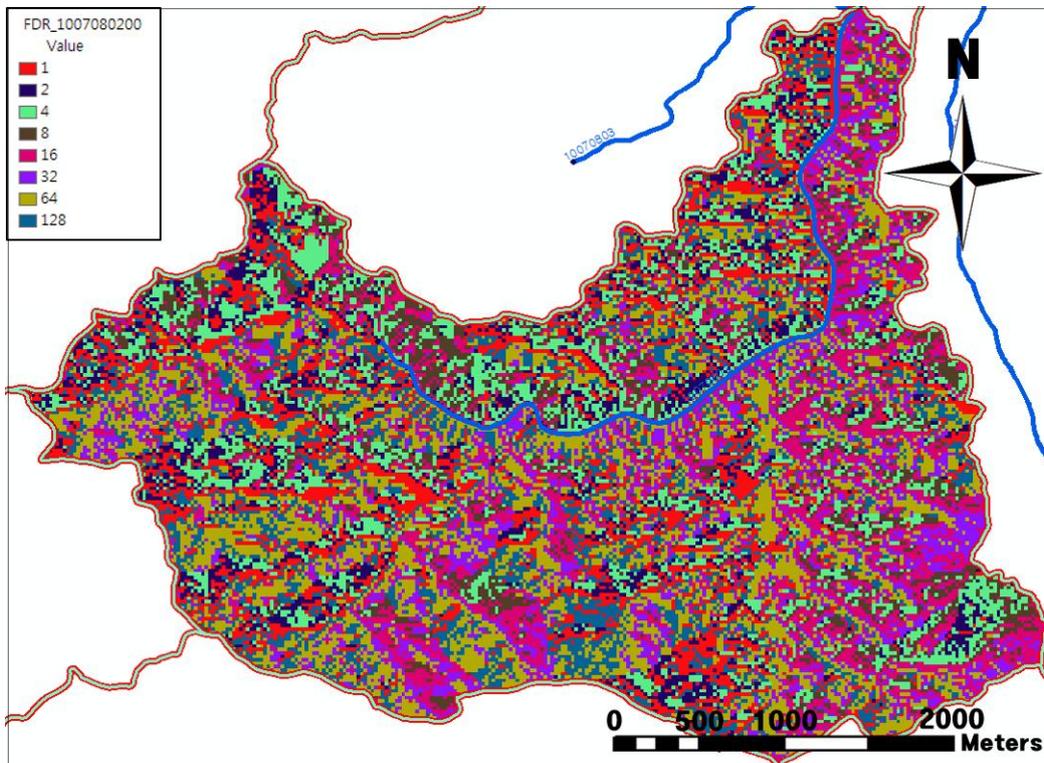


FIGURE 2. Flow direction gridmap of catchment(Nam Han-river basin)

### 1. 집수구역 지점 추출 알고리즘 설계

흐름방향도는 격자구조의 공간자료이며, 물이 모이는 지점이라는 것을 판단하기 위해 흐름 방향 값이 필요할 때마다 흐름방향도에서 값을 읽어오는 것은 자료 접근 시간 및 내용량 격자자료 구조를 고려하였을 때 효율적인 방법이 아니다. 이를 해결하기 위해 본 연구의 집수구역 분할 알고리즘은 3개의 2차원 배열을 정의하여 사용하였다. 첫 번째 배열은 하천의 흐름방향을 입력한 2차원 배열이며, 두 번째 배열은 물이 모이는 지점을 확인하기 위한 2차원 배열, 마지막 배열은 분할을 위한 경계선을 표시하기 위한 2차원 배열이다. 물이 모이는 지점을 검색하기 위한 방법으로 3×3 윈도우 검색 방법을 사용하였으며, 검색 지점이 변경될 때마다 윈도우의 중심 좌표를 설정하여 지점 탐색을 수행하였다. 이 때 검색 지점이 격자구조를 벗어난 지점을 탐색하지 않도록 하였다.

집수구역 분할을 수행할 지점을 선택하면, 이 지점을 기준으로 물이 모이는 지점을 검색하기 위해 3×3 윈도우의 검색 시작 지점을 정의해야한다. 검색 시작 지점은 집수구역 분할 지점의 좌표를 하천 흐름방향을 나타낸 2차원 배열의 좌표로 변환하고 3×3 윈도우의 중앙 지점에 입력하여 정의한 후 방향 값이 입력된 2차원 배열의 해당 지점 주변 9개 값을 각 윈도우에 입력하여 물이 모이는 지점을 검색한다. 좌표 변환은 맵 좌표를 격자 좌표로 변환하는 식을 활용하였다(식 1, 식 2).

$$\text{격자 } X \text{ 좌표} = \frac{(\text{맵 } X \text{ 좌표} - \text{흐름방향도 } X \text{ 축 최솟값})}{X \text{ 축 격자 크기}} \quad (1)$$

$$\text{격자 } Y \text{ 좌표} = \frac{(\text{흐름방향도 } Y \text{ 축 최댓값} - \text{맵 } Y \text{ 좌표})}{Y \text{ 축 격자 크기}} \quad (2)$$

물이 모이는 지점이라고 확인된 좌표를 다시 3×3 윈도우의 중앙 지점으로 정의하여 재귀 검색 수행하여 집수구역을 검색하도록 하였다. 집수구역 지점을 검색하기 위한 자료구조로 Queue를 사용하였다. Queue는 자료가 입력된

순서대로 자료를 반환하는 FIFO(First In First Out) 구조를 가진 자료구조이다. 물 흐름방향은 흐름방향도에서 정의된 값에 따른 방향을 사용하였으며, 3×3 윈도우 내 각 지점의 흐름방향이 중앙을 가리킬 경우에만 물이 모이는 지점으로 판단하도록 하였다. 그림 3은 3×3 윈도우에 값이 흐름방향도의 값이 입력된 상황에서 물이 모이는 지점을 선택하는 모식도를 나타내고 있으며, 집수구역으로 1, 2, 3의 지점이 집수구역으로 선택된 예시를 보여주고 있으며, 그림 4는 선택된 1, 2, 3 지점을 다시 3×3 윈도우의 중앙 지점으로 정의 후 탐색한 결과를 나타내며, 그림 5는 집수구역 지점 추출 예시를 나타낸다.



FIGURE 3. Setting the first search point

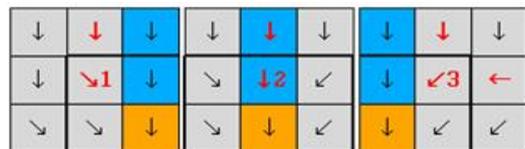


FIGURE 4. Repeated search of searched points

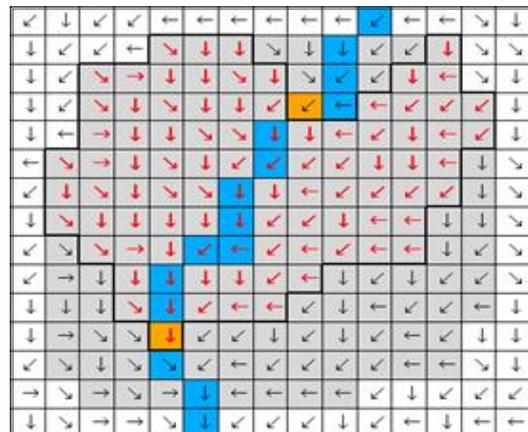


FIGURE 5. Example of catchment extraction

## 2. 집수구역 분할 알고리즘 개발

집수구역 분할 알고리즘은 앞서 설명한 자료 구조 및 검색방법을 활용하여 집수구역 지점 추출 단계, 집수구역 분할을 위한 경계점 추출 단계 및 경계선 생성 및 집수구역 분할의 세 단계로 이루어져있다.

집수구역 지점 추출 단계는 흐름방향도를 이용하여 집수구역 분할 기준 지점으로 물이 모이는 지점을 추출하는 단계이다. 먼저 집수구역 분할 기준 위치를 정의한 후 기준 지점의 위치를 이용하여 흐름방향도를 불러온다. 흐름방향도는 격자구조로 구성되어 있으며 흐름방향도의 행, 열의 크기와 같은 2차원 배열을 생성하여 방향 값을 미리 입력하도록 하였으며 이 배열을 Value Grid라고 정의하였다. 이와 함께 동일한 크기의 2차원 배열을 하나 더 생성하여 집수구역으로 선택된 지점을 표시하기 위한 맵으로 활용하였으며 Index Grid라고 정의하였다.

Value Grid에는 흐름방향도의 격자를 (0,0) 값부터 (row-1, col-1)까지 순차적으로 읽어들이며 해당 지점의 값을 Value Grid에 저장한다. 흐름방향도는 격자구조 자료이며 다양한 지형의 모습을 나타내고 있으므로 방향 값이 없는 격자가 존재한다. 방향 값이 없는 지점은 '0' 값을 입력하여 자료가 없음을 표시하도록 하였다. Value Grid 초기화와 함께 Index Grid도 초기화를 수행하며, 방향 값이 없는 지점에는 '-1' 값을 입력하고 방향 값이 입력된 지점은 '0' 값을 입력하여 초기화한다.

분할 시작 지점의 맵 좌표를 배열 좌표로 변환한 후 집수구역 검색을 위해 Queue를 초기화하고 분할 시작 지점을 Queue에 입력한다. 집수구역 검색은 3×3 윈도우를 이용한 반복 검색 과정을 수행하게 되며, Queue에 입력된 지점을 하나씩 꺼내어 3×3 윈도우의 중심좌표로 설정하고 집수구역을 검색한다. Queue에 더 이상 검색할 지점이 남아있지 않을 때 검색을 종료하도록 하였다. 집수구역 검색의 반복 과정은 Queue에서 검색 지점을 꺼내온 후 3×3 윈도

우의 좌표를 설정하는 것에서 시작된다. 3×3 윈도우는 3행 3열의 2차원 배열로 정의되어 있으며, 중앙지점인 (1, 1)좌표에 Queue에서 가져온 검색지점의 좌표를 입력한다. 주변의 8개 지점에는 검색 지점의 주변 좌표를 입력한다. 주변 좌표가 흐름방향도의 범위를 넘을 경우 해당 좌표는 검색하지 않도록 한다. 그림 6은 검색 지점의 좌표가 (50, 50)일 경우 3×3 윈도우가 설정된 값을 나타낸다.

(49, 49)	(49, 50)	(49, 51)
(50, 49)	(50, 50)	(50, 51)
(51, 49)	(50, 50)	(51, 51)

FIGURE 6. Example of 3×3 window

3×3 윈도우에 입력된 좌표는 Value Grid의 좌표를 의미하고 있으며 3×3 윈도우에 입력된 각 좌표를 이용하여 해당 좌표에 입력된 방향 값이 중앙 지점을 향하고 있는지 비교한다. 중앙지점으로 흐르는 지점이라고 판단된 경우 Index Grid의 해당 좌표에 입력된 값을 변경하여 물이 모이는 지점으로 정의하고 해당 지점을 Queue에 입력한다. Index Grid의 값이 '0' 일 경우 값을 '1' 로 변경하여 저장하고 검색된 지점의 좌표를 Queue에 입력하며 검색된 지점은 다음 검색 지점으로 활용된다. Queue에 입력된 값의 개수가 0보다 크다면 아직 검색할 지점이 남아있음을 의미하며 Queue에서 새로운 지점을 꺼내온 후 검색을 반복한다. Queue에 남은 지점이 없을 때까지 반복 검색을 수행하며 검색 시작 지점으로 물이 모이는 흐름방향도의 모든 지점을 검색할 수 있다. 모든 검색이 종료된 후 Queue에 입력되었던 모든 지점을 물이 모이는 지점으로 확정하며, Index Grid의 '1' 값으로 저장된 지점을 '2' 값으로 변경한다. 그림 7은 일련의 과정을 나타낸 알고리즘 모식도이다.

여기서 Index Grid에는 의미를 가지는 5개의 값이 저장된다. '-1' 값은 흐름방향도에 포함

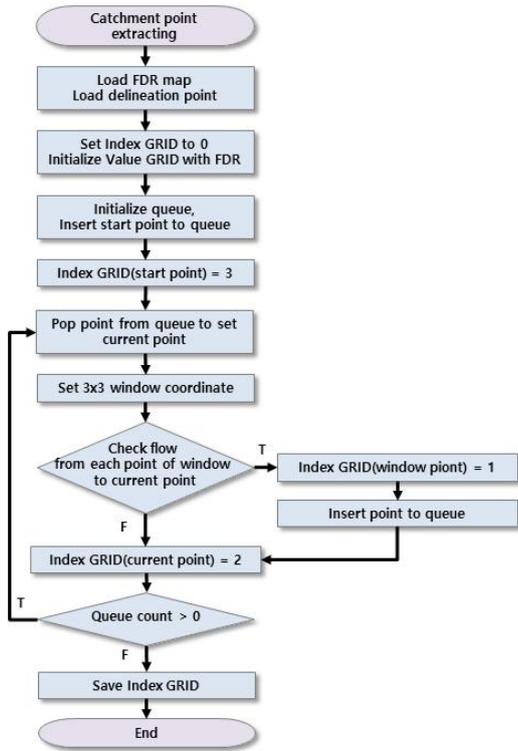


FIGURE 7. Flowchart for extracting points of segmentation water catchment area

되지 않는 지역이며, '0' 값은 물이 모이지 않는 지점이며 초기 값으로 설정된 값이다. '1', '4' 값은 중복검색을 방지하기 위해 프로그램 내부적으로 설정된 값이며, '2' 값은 물이 흐르는 지점으로 확정된 값이다. '3' 값을 검색 시작 지점을 의미하며 '5' 값은 집수구역 분할 경계선 지점을 의미한다.

집수구역 분할을 위한 경계점 지점 추출 단계는 Index Grid를 이용하여 집수구역이 분할되

는 경계의 지점을 추출하는 단계이다. 검색된 집수구역 지점은 격자구조로 이루어진 영역이며 집수구역을 분할하기 위해서는 검색된 지점을 분할할 수 있는 경계선을 추출해야 한다. Index Grid에 저장된 집수구역은 순서가 정의되지 않고 물이 모이는 지점만을 나타내고 있는 배열이므로 경계선을 추출할 수 없다. 따라서 Index Grid에 저장된 집수구역 지점을 이용하여 경계선을 추출하는 알고리즘을 개발하여 집수구역을 분할하기 위한 경계선을 이루는 지점인 집수구역 분할 경계점을 추출하도록 하였다. 분할 경계점 추출을 위해 Index Grid와 동일한 크기를 가지는 세 번째 2차원 배열인 Index Line Grid를 생성하고 Index Grid와 동일하게 흐름방향도의 방향 값이 없는 지점은 '-1' 값을 입력하고 다른 지점은 '0' 값을 입력하여 초기화한다. Index Grid에서 '3' 값을 가지는 지점을 검색의 시작 지점으로 입력하였으며 Index Grid의 값을 활용하여 경계선 지점을 검색하였다.

경계점을 추출하기 위해서는 물이 모이는 지점과 모이지 않는 지점의 경계를 판단해야 한다. 집수구역 지점 추출과 동일하게 Queue를 초기화하고 시작 지점을 Queue에 입력한다. 집수구역 검색은 3×3 윈도우를 이용한 반복 과정을 수행하게 되며, Queue에 더 이상 검색할 지점이 없을 때 반복을 종료하도록 하였다. 경계점 추출의 반복 과정은 Queue에서 검색 지점을 가져온 후 3×3 윈도우의 좌표를 설정하는 것에서 시작된다. 좌표 값의 입력이 끝난 후 윈도우에 입력된 좌표의 Index Grid 값이 '2' 값일 경우 3×3 윈도우 내에 위치한 좌, 우 값을 불러와 비교한다. 물이 모이는 지점과 모이지 않는 지점은 '0' 값과 '2' 값으로 구분할 수

'0'	'2'	'2'
'0'	'2'	'2'
'0'	'0'	'2'

(a)

'0'	'2'	'2'
'0'	'2'	'2'
'0'	'0'	'2'

(b)

'0'	'2'	'2'
'0'	'2'	'2'
'0'	'0'	'2'

(c)

FIGURE 8. Examples of selection of segmentation boundary points

있으므로 좌, 우 값이 모두 '2' 값이 아닐 경우 경계점이라고 판단하고 Queue에 해당 지점을 입력한다.

그림 8은 경계점 추출을 위한 경우의 수를 나타낸 예시이다. (a)는 3×3 윈도우의 (0,0) 위치의 점을 검색한 경우이다. 해당 위치의 값이 '0' 이므로 물이 흐르지 않는 지점으로 판단하고 경계선에서 제외한다. 그림 8의 (b)는 3×3 윈도우의 (0,1) 위치의 점을 검색한 경우이다. 해당 위치의 값이 '2' 이며 좌 우 값이 '0' , '2' 이며 연속된 지점이 아니므로 집수구역 분할 경계점이라고 판단하고 해당 지점의 좌표를 Queue에 입력한다. 그림 8의 (c)는 3×3 윈도우의 (0,2) 위치의 점을 검색한 경우이다. 해당 위치의 값이 '2' 이지만 좌, 우의 값이 모두 '2' 값을 가지고 있어 집수구역 내부의 지점으로 판단하고 해당 지점 경계선에서 제외한다. 경계점이라고 판단된 경우 Index Line Grid의 해당 좌표에 입력된 값을 확인한다. 값이 '0' 일 경우 값을 '1' 로 변경하여 저장하고 검색된 지점을 Queue에 입력한다. 모든 검색이 종료된 후 Queue에 입력되었던 모든 지점을 경계점으로 확정하며, Index Line Grid의 '1' 값으로 저장된 지점을 '2' 값으로 변경한다. 그림 9는 일련의 과정을 나타낸 알고리즘 모식도이다.

경계선 생성 및 집수구역 분할단계는 집수구역 분할 경계점을 이용하여 경계선을 생성하고 집수구역을 분할하는 단계이다. 집수구역을 분할하기 위해서는 집수구역 경계점을 이용하여 집수구역 분할을 위한 경계선을 생성해야 한다. 선은 점들의 순차적 연결로 구성되어 있으나 집수구역 경계점 추출단계에서 추출된 경계점은 순서 없이 만들어진 점들을 나타내고 있다. 집수구역 분할 경계선을 생성하기 위해 Index Line Grid 내의 '2' 값을 가진 점들을 순차적으로 연결해야 하며, 이를 위해 집수구역 분할 경계선의 시작 지점을 검색해야 한다. 경계선의 시작 지점은 분할 대상인 최초 방향흐름도의 외곽선과 집수구역 분할 경계점이 만나는 지점으로 선택해야 한다. 이를 위해 Index Line Grid

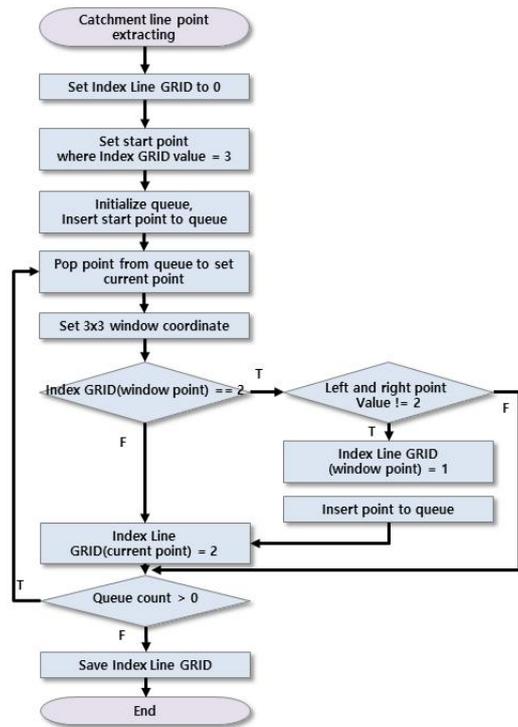


FIGURE 9. Flowchart for extracting segmentation boundary points

지점 중 '2' 값을 가지고 있으며 그 주변의 값이 '-1' 값을 가지고 있는 지점을 선택하였다. 그림 10은 시작지점 선택의 예시를 나타낸다.

집수구역 지점 추출과 동일하게 Queue를 초기화하고 시작 지점을 Queue에 입력한다. 집수구역 검색은 3×3 윈도우를 이용한 반복 과정을 수행하게 되며, Queue에 더 이상 검색할 지점이 없을 때 반복을 종료하도록 하였다. 경계

'-1'	'-1'	'-1'	'-1'	'0'
'-1'	'-1'	'2'	'0'	'0'
'-1'	'0'	'2'	'0'	'0'
'0'	'0'	'2'	'0'	'0'

FIGURE 10. Example of selection of starting points

선 추출의 반복 과정은 Queue에서 검색 지점을 가져온 후 3×3 윈도우의 좌표를 설정하는 것에서 시작된다. 좌표 값의 입력이 끝난 후 윈도우에 입력된 지점 주변의 값이 '2' 값을 가진 지점을 검색하게 되며 검색된 지점을 Queue에 입력한다. 경계선을 생성하기 위한 점의 순서를 순차적으로 입력하기 위해 검색된 지점은 분할선인 1차원 배열에 순서대로 입력하였으며 이 배열을 Cutline으로 정의하였다. 이 때 중복 검색을 방지하기 위해 선택된 지점의 Index Line Grid 값을 '4' 값으로 변경한다. 모든 검색이 종료된 후 Queue에 입력되었던 모든 지점을 경계선으로 확정하며, Index Line Grid의 '4' 값으로 저장된 지점을 '5' 값으로 변경한다.

모든 반복이 종료된 후 Cutline은 입력된 좌

표를 연속적으로 저장하고 있다. 입력된 격자 좌표를 최초 분할 시작 지점의 맵 좌표계로 좌표변환을 수행하여 실제 경계선을 생성한다. 최종적으로 생성된 집수구역 분할 경계선을 이용하여 집수구역을 분할하여 집수구역의 분할을 완료한다. 그림 11은 일련의 과정을 나타낸 알고리즘 모식도이다.

## 모듈 개발 및 연구 결과

집수구역 분할 알고리즘을 검증하기 위해 집수구역 분할 모듈을 개발하였다. 집수구역 분할 모듈은 사용자의 편의 및 활용성을 고려하여 널리 사용되고 있는 지도 편집 프로그램의 ArcGIS의 Add-in 모듈로 개발되었으며 Net framework 기반의 C# 언어로 개발되었다. 모듈의 개발은 인터페이스 설계 및 알고리즘 구현으로 수행되었다.

집수구역의 분할은 하천망분석도의 주제도로 포함되어 있는 흐름방향도를 사용하며, 분할 시작 지점을 입력하기 위한 데이터 레이어와 분할할 집수구역 및 해당 집수구역의 흐름방향도를 입력하도록 하였다. 분할이 완료된 집수구역은 ESRI사의 ArcGIS에 사용되는 표준 포맷 파일이며 지리현상에 대한 기하학적 위치와 속성을 저장할 수 있는 SHP 파일로 저장하도록 하였다.

집수구역 분할 모듈로 집수구역을 분할하기 위해 남한강 양평군 양평읍 오빈리 인근의 하천망분석도 집수구역에 시범 적용해 보았다. 시범 적용 대상 집수구역은 하천망분석도에서 측정소를 기반으로 집수구역을 분할한 집수구역으로, 집수구역 분할 모듈의 결과를 비교하기 용이하여 시범지역으로 선택하였다.

그림 12와 그림 13은 시범지역의 위성사진과 흐름방향도를 나타낸다. 흐름방향도는 국토지리정보원에서 제공하는 수치표고자료를 이용하여 생성되었으며, 흐름방향도의 격자 크기는 30m이다. 본 연구에서 개발한 알고리즘은 Value Grid, Index Grid 및 Index Line Grid를 활용하고 있으며 시범지역의 집수구역을 분할한 결과를 확인하였다. Value Grid는 집수구역의 흐름 방향이 입력되어 있으며, 그 결과는 그림 14

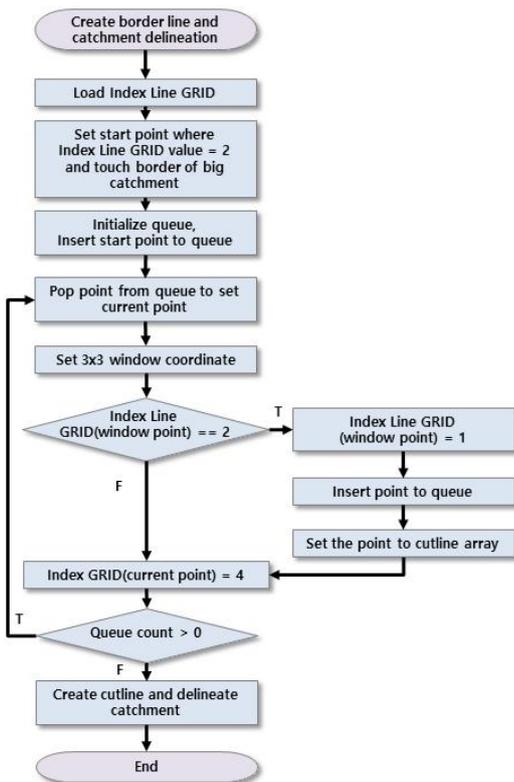


FIGURE 11. Flowchart of generation and segmentation of segmentation boundary of water catchment area

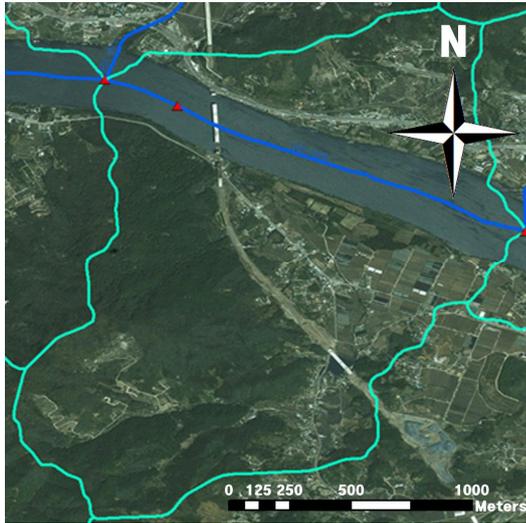


FIGURE 12. Study area

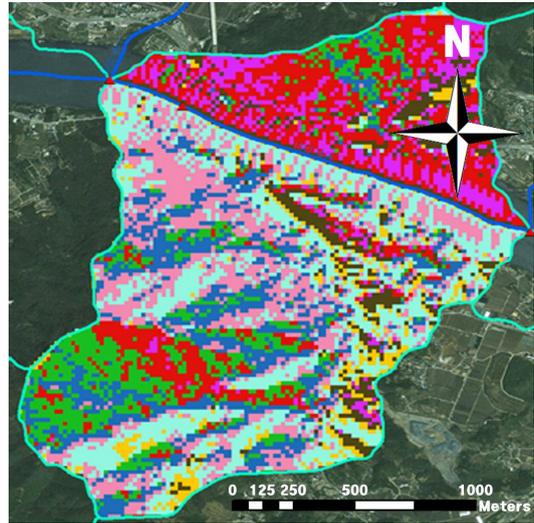


FIGURE 13. FDR of study area

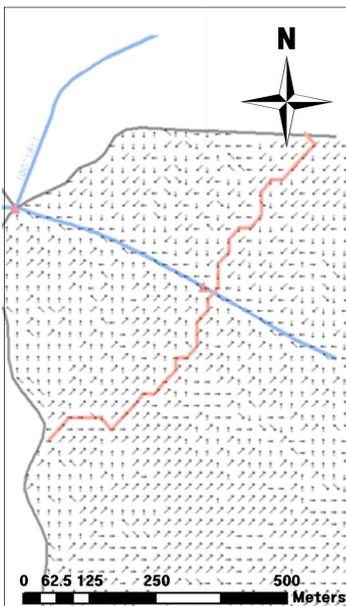


FIGURE 14. Value grid

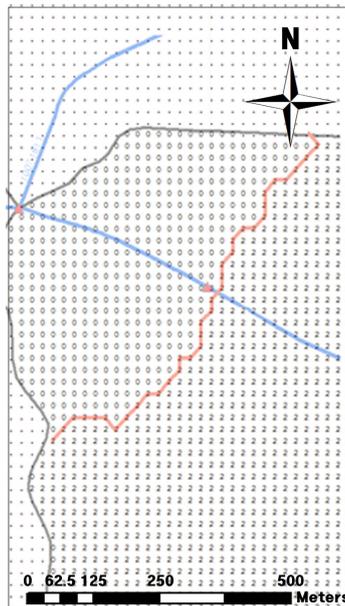


FIGURE 15. Index grid

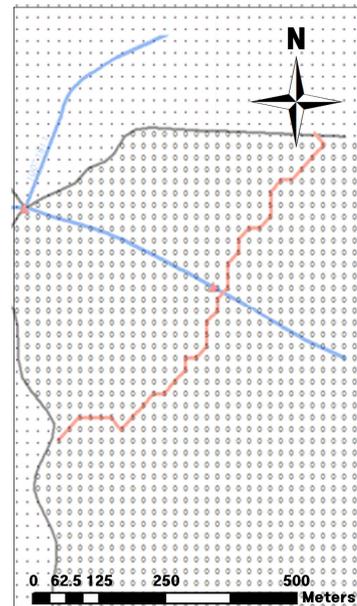


FIGURE 16. Index line grid

와 같다. 실제 값은  $2n$  값으로 입력되어 있으나 이해를 돕기 위해 화살표로 표시하였다. 집수구역 지점 추출 단계를 수행한 결과인 Index Grid는 그림 15과 같다. 집수구역으로 선택된 지점의 값이 '2'로 입력된 것을 확인할 수 있었다.

집수구역이 정확히 추출되었는지 확인하기 위해 Value Grid와 비교 확인하였으며, 잘못된 물의 흐름방향이 적용된 지점이 없음을 확인하였다. 그림 16은 추출한 Index Grid를 이용하여 집수구역 분할 경계선을 생성하고 집수구역을 분할



FIGURE 17. Result of catchment delineation

하여 분할 집수구역 생성을 완료하였다. 그림 17의 (a)는 집수구역 분할 경계선 생성 결과이다. 집수구역 분할 모듈의 수행 결과를 통해 집수구역 분할 알고리즘이 수치표고모델의 지형적 높이를 고려하여 정확한 집수구역을 추출하고 있음을 확인할 수 있었다.

이와 함께 집수구역 자동 분할 결과를 검증하기 위해 분할된 집수구역을 실제 활용되고 있는 집수구역과 비교하였다. 그림 17의 (b)는 집수구역 자동 분할 모듈을 이용해 분할한 결과와 하천망흐름도의 집수구역의 경계선을 비교한 그

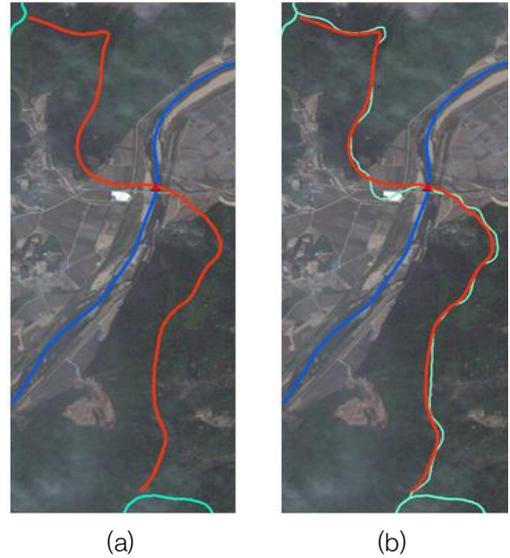


FIGURE 18. Result of catchment delineation

림이다. 강 주변의 논 지역의 평지 지형을 제외한 지역의 경계선이 대부분 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 경계선을 부드럽게 표현하기 위해 집수구역 분할 경계선에 Smoothing 기법을 적용하여 기존의 집수구역 결과와 비교하였다. 그림 18의 (a)는 Smoothing 기법을 적용한 집수구역 분할 경계선 생성결과이다. 그림 18의 (b)는 Smoothing 기법이 적용된 경계선과 실제 집수구역을 비교한 결과이며 그림 17의 결과보다 보다 정확한 경계를 나타내고 있음을 확인하였다. 그림 17과 그림 18의 결과를 통해

TABLE 1. Result of catchment delineation area and ratio

Medium sized catchment	Standard catchment	Standard catchment (km <sup>2</sup> )	Module (km <sup>2</sup> )	ArcHydro (km <sup>2</sup> )	Area difference(km <sup>2</sup> )		Difference ratio(%)	
					Module	ArcHydro	Module	ArcHydro
Downstream of Chungju Dam	Mokgye stage gauge	155.64	154.77	153.70	0.86	1.93	0.55	1.24
	Sum river joining river	93.08	93.25	92.37	-0.16	0.71	-0.18	0.76
	Ungye stream	73.22	72.86	73.01	0.36	0.21	0.49	0.29
	Ungye stream joining point	161.24	162.07	161.22	-0.82	0.02	-0.51	0.01
	Chungju Jojungji Dam	40.84	41.07	39.94	-0.23	0.89	-0.56	2.19

본 연구의 집수구역 분할 알고리즘과 기존 집수구역 경계선을 비교하였으며 기존 집수구역의 경계선을 잘 나타내고 있음을 확인하였다.

마지막으로 본 연구를 통해 개발된 알고리즘과 ArcHydro를 이용하여 하나의 중권역을 분할하고 그 결과를 비교해 보았다. 표 1은 충주댐 하류 중권역 내의 표준유역을 대상으로 본 연구에서 개발한 모듈 및 ArcHydro로 분할한 집수구역의 면적과 면적 차이의 비율을 비교한 표이다. 표준유역의 면적을 기준으로 분할된 집수구역 면적을 비교하였을 때 본 연구의 알고리즘이 1% 이하의 면적 차이를 나타내고 있으며, 논, 비행장 등 평지가 포함된 지역에서도 큰 오차 없이 집수구역을 분할하고 있음을 확인하였다.

위와 같이 집수구역 분할 모듈의 분할 결과가 현재 활용되고 있는 집수구역과 유사한 결과를 나타내고 있음을 확인할 수 있었으며, 실제 수질오염사고가 발생한 지점이나 사용자의 필요에 의해 분할할 지점을 기준으로 한 집수구역 분할에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 결 론

본 연구에서는 집수구역 분할을 위한 알고리즘을 개발하고 집수구역 자동 분할 모듈을 개발하여 신속한 집수구역 분할 수행을 가능하게 하였다. 개발된 집수구역 분할 모듈을 이용하여 하천망흐름도의 집수구역을 분할하였으며, 그 결과를 현재 활용중인 집수구역과 비교하여 검증하였다.

집수구역 분할 모듈로 집수구역을 추출하기 위해 개발한 집수구역 분할 결과 수치표고자료 기반의 흐름방향도를 활용한 집수구역 분할이 양호하게 이루어지는 것을 확인하였다. 특히 산지 등 지형학적 경사의 구분이 명확한 지역은 상대적으로 정확한 집수구역의 분할이 가능하였다. 그러나 논, 밭, 도심지역 등 평지 지역이나 배수시설이 정비된 지역의 경우 집수구역의 분할이 이루어지지 않는 경우가 있었다. 이는 도심 지역의 집수구역은 지형학적 요인과 인문 사회학적 요인을 고려하여 분할되어야 하기 때문

에 지형학적 요인만을 고려한 국지적인 집수구역 분할은 정확한 집수구역 분할을 수행할 수 없음을 확인하였다. 또한 평지 지형은 흐름방향도의 방향 값이 명확하게 정의되지 않는 문제로 인하여 집수구역 분할의 오차가 발생됨을 확인하였다. 이는 현재 사용중인 30m 격자의 수치표고자료는 지형의 표고를 1m 단위로 저장하기 때문에 표고 차이가 많지 않은 평지에서 흐름 방향을 계산하지 못하여 발생하는 문제이다.

그러나 수질사고 지역 탐색 등 집수구역의 확보가 긴급하게 필요할 경우 유사범위의 집수구역을 신속하게 분할할 수 있어 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다. 아울러 정확한 집수구역 분할이 필요할 경우에도 자동 분할한 집수구역을 기반으로 인위적인 판단을 적용하여 정확한 집수구역으로 보정하는 방법을 사용하여 집수구역의 분할 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다.

향후 5m DEM 기반의 정밀 수치표고자료를 활용하여 평지지역의 지형학적 오차 요인을 제거할 수 있는 알고리즘의 개발이 이루어지면 보다 정확하고 신속한 집수구역이 가능할 것으로 사료된다. 이와 함께 정밀 수치표고자료의 자료 크기로 인한 계산 시간이 소요되고 있는 점을 고려하여 이를 개선한 알고리즘의 개발도 함께 이루어져야 할 것이다. **KAGIS**

## REFERENCES

- De Jager, A.L. and J.V. Vogt. 2010. Development and demonstration of a structured hydrological feature coding system for Europe. *Hydrological Sciences Journal* 55(5):661-674.
- Beeri, C., Y. Kanza, E. Safra, and Y. Sagiv. 2004. Object fusion in geographic information systems. *Proceeding of the 30th VLDB Conference*, Toronto, Canada. pp 816-827.
- Horn, R.C., L. McKay, and S.A. Hanson.

1994. History of the U.S. EPA's river reach file: a national hydrographic database available for ArcInfo applications. Proceedings of the Fourteenth Annual ESRI User Conference.
- Jo, M.H., S.H. Lee, H.L. Choi, and S.H. Jang. 2013. Building a GIS database for analyzing the integrated information on aquatic ecosystem health and its application. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16(4): 189-203 (조명희, 이수형, 최희락, 장성현. 2013. 수생태계 건강성 통합정보 분석을 위한 GIS DB 구축 및 활용에 관한 연구. *한국 지리정보학회지* 16(4):189-203).
- Kwon, M.J., K.H. Kim, and C.Y. Lee. 2012. Design of GIS based Korean reach file supporting water quality modeling. *Journal of Korea Water Resources Association* 45(1):1-13 (권문진, 김계현, 이철용. 2012. 수질모델링 지원을 위한 GIS기반 한국형 Reach File 설계. *한국수자원학회지* 45(1):1-13).
- Lee, C.Y., K.H. Kim, Y.G. Park, and H. Lee. 2014. Construction schemes of GIS-based integrated water environment information management system linked with Korean reach file. *Journal of Korea Society on Water Environment* 30(2):226-241 (이철용, 김계현, 박용길, 이혁. 2014. KRF를 연계한 GIS 기반의 통합 물환경정보 관리시스템 구축 방안. *한국물환경학회지* 30(2):226-241).
- Lee, H. 2011. Development of GIS-based Korean reach file for supporting water quality management. Ph.D. Thesis, Univ. of Inha, Incheon, Korea. p.12 (이혁. 2011. 수질관리 지원을 위한 GIS 기반의 한국형 Reach File 개발 연구. *인하대학교 대학원 박사학위논문*. 12쪽).
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2013. A study on the Revision and Accuracy Enhancement of Korean Reach File. p.28 (국립환경과학원. 2013. 한국형 Reach File 현행화 및 정확도 제고방안 연구. 28쪽).
- Park, Y.G., K.H. Kim., C.Y. Lee, and S.J. Lee. 2013. Developing algorithm of automated generating schematic diagram for one-dimensional water quality model using Korean reach file. *Journal of Spatial Information Society* 21(6):91-98 (박용길, 김계현, 이철용, 이성주. 2013. 한국형 Reach File을 이용한 1차원 수질모델 모식도 자동생성 알고리즘 개발. *한국공간정보학회지* 21(6):91-88).
- Song, H.O., H. Lee, T.G. Kang, K.H. Kim, J.K. Lee, D.H. Rhew, and D.I. Jung. 2016. A study on redesign of spatial data structure of Korean reach file for improving adaptability. *Journal of Korea Society on Water Environment* 32(6): 511-519 (송현오, 이혁, 강태구, 김경현, 이재관, 류덕희, 정동일. 2016. 하천망분석도(KRF)의 활용성 증대를 위한 공간데이터 구조 개선에 관한 연구. *한국물환경학회지* 32(6): 511-519).
- Yoo, H.M. 2014. Developing a method for attribute data integration of spatial data - focusing on road network data of Korea NGII and KOTI -. Master's Thesis. Univ. of Seoul, Seoul, Korea. pp.11-17 (유희민. 2014. 공간 데이터 간의 속성데이터 연계방법에 관한 연구. *서울시립대 대학원 석사학위논문*, 서울, 대한민국. 11-17쪽). 