

## 크루스칼 알고리즘과 불규칙 삼각망을 이용한 유역 추출 알고리즘

### Watershed Delineation Algorithm Using Kruskal's Algorithm and Triangulated Irregular Network

박미정\*\* · 허 현\* · 김태곤\*\*\* · 서 교\*\*\*\* · 이정재\*\*\*\*\*,†

Park, Meejeong · Heo, Hyun · Kim, Tae-Gon · Suh, Kyo · Lee, Jeong-Jae

#### Abstract

Watershed is the land area that contributes runoff to an outlet point. To delineate an watershed, watershed delineation using GIS that contains grid data structure is the most general method. Some researchers have studied to implement algorithms that revise the TIN topography since it is difficult to delineate watershed boundary more accurately. In this study kruskal's greedy algorithm and triangulated irregular network (TIN) were used to delineate a watershed. This method does not require a conversion from to DEM in grid and automatically obtain(generates) the outlet points. Delineation algorithm was tested in Geosan-gun, Chungcheongbuk- do and get small watershed areas. Finally, kruskal's algorithm could operate more precisely with revision algorithm.

*Keywords : Watershed delineation, Watershed, Triangulated irregular network(TIN), Kruskal, algorithm, Geographic information system (GIS)*

#### I. 서 론

유역과 하천 특성은 유역의 강수-유출간의 관계 규명과 홍수량을 추정하는데 필요한 기초 자료이

며, 이를 통해 유량을 산출할 수 있다. 유량은 대상 유역의 투수 특성, 유로의 특성 등으로 구성되는 유출 특성에 큰 영향을 받기는 하나 근본적으로는 유역의 면적에 영향을 받는 강수량이 가장 중요한 요소가 된다. 그러므로 유역을 정확히 결정할 수 있다면 그만큼 정확한 유량 산출이 가능하고, 궁극적으로 구조물의 정확한 설계에 기여하게 된다.

기존에는 유역을 얻기 위해 등고선을 이용하여 사람이 직접 유역을 가려내는 방법을 사용하였으나 이는 부정확하고 인위적이어서 이에 대한 개선의 필요성이 대두 되었고 수많은 연구자들에 의해 사

\* ,\*\*\*\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과

\*\* 농촌진흥청 농촌생활연구소

\*\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 대학원

\*\*\*\* 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4592

Fax: +82-2-876-4592

E-mail address: ljj@snu.ac.kr

람의 손을 대치하는 유역추출 알고리즘의 개발을 위한 연구가 이루어졌다.

Tucotte et al.(2001)은 물의 흐름 방향을 결정하기 위해 8 Flow direction matrix를 제안하였고 이를 이용하여 O'Callaghan and Mark(1984)와 Jenson and Domingue(1998), Fairfield and Leymarie(1991), Martz and Gabrecht(1992)에 의해 수치고도모델(DEM)과 같은 디지털 지도를 이용한 유역의 추출에 의한 연구가 이루어졌다.

그 후, GIS의 발전에 힘입어 GIS를 이용하여 유역의 추출기능을 수행할 수 있는 기능을 개발하는 방법에 의한 연구가 Environmental(1992)에서 이루어졌다. 이후 수많은 연구를 통해서 GIS를 이용한 유역 추출방법이 정립 되었으며 Choi and Engel(2003)에 의해서 Web-GIS를 이용한 실시간 유역 추출에 관한 연구가 진행되기도 하였다.

그러나 대부분의 GIS tool들이 채택하고 있는 격자 그리드 기반 알고리즘들을 이용한 방법 역시 이에 사용되는 격자형 지형 자료를 얻기 위하여 등고선 자료를 통해 불규칙 삼각망(TIN, Triangular Irregular Networks)을 만드는 인위적인 과정이 필요하고, 이 과정을 거치지 않기 위해 기존의 DEM 자료를 직접 이용할 수도 있으나 이를 위해서는 자료의 방대함으로 인하여 고성능의 컴퓨터가 필요하고 연산 수행 시간이 길어지는 등의 단점을 가지고 있다. 또한, 선행 연구들 모두 지형 분석에 관한 기본 자료로 수치고도모형 등을 사용하였기 때문에 불규칙삼각망을 직접 수문 분석에 사용된 예는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 유역 추출 방법들을 비교 분석하고, 등고선 자료로부터 직접 불규칙 삼각망을 생성하고 이를 DEM으로 바꾸는 과정 없이 그래프 이론을 도입하여 유역을 추출하는 알고리즘을 개발하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 불규칙 삼각망

컴퓨터를 통해 수치적으로 표면을 표현하는 방법으로는 격자망과 불규칙삼각망의 두 가지 방법이 일반적으로 사용된다. 격자형 자료를 사용할 경우 불연속선은 격자로 표현하기 어렵게 때문에 자료의 손실이 불가피하고, 일정한 격자 크기를 사용하기 때문에 동일한 지형을 표현하는데 불규칙 삼각망을 이용하는 것보다 많은 데이터 공간이 필요하다. 그러나, 불규칙 삼각망을 이용한 수치표고모형은 삼각형으로 연결된 3차원 점들로 구성되며, 이 방식에서 사용되는 삼각형의 꼭지점은 기준점으로, 표면의 특징적인 위치들에서 수집된다. 그러므로 불규칙삼각망에 의한 수치고도모형은 불규칙한 점, 선, 다각형 내에 각각의 중요한 정보를 포함하고 있기 때문에 지형의 기복이 심한 표면에서 보다 더 효과적으로 지형을 표현할 수 있으며, 자료저장이 라는 측면에서도 더 효율적이다.(Kang et al., 2001)

불규칙삼각망에는 3개의 자료구조가 있는데, 점(Vertex), 경계(Edge), 삼각형(Triangles)의 3단계로 구성되어 있으며 하나의 삼각형은 3개의 경계에 의해서 형성되고 하나의 경계는 2개의 끝점(Endpoint)에 의해 형성된다. 이러한 3가지 요소의 조합이 불규칙삼각망에 대한 자료구조를 형성한다. Table 1 은 불규칙 삼각망 자료구조에서 기하학적, 위상학적, 정석적 정보에 대한 내용을 나타낸 것이다.(Kim 2000)

본 연구에서는 이러한 불규칙 삼각망의 생성을 Park(2005)이 구성했던 델로니 삼각망 생성 알고리즘을 이용하여 생성하였고 이의 저장 및 처리의 간편화와 대용량 자료의 처리를 위해 표준질의문(Standard Query Language)을 이용한 데이터베이스(Database)를 이용하였다. 이의 구성은 각 삼각형의 자기번호(Identical Number)와 삼각형을

Table 1 Data structure of triangulated irregular network

Data Structure	Geometrical Information	Topological Information
Vertex	x, y, z coordinates	pointers of near edges
		pointers of near triangles
		pointers of near vertices
Edge	coordinates of end points	pointers of near edges
		pointers of near triangles
Triangle	coordinates of vertices	pointers of triangle edges
		pointers of near triangles

Table 2 Database structure of triangulated irregular network

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
Triangle_ID	int(11)		PRI		
v1_x	double	YES		NULL	
v1_y	double	YES		NULL	
v1_z	double	YES		NULL	
v2_x	double	YES		NULL	
v2_y	double	YES		NULL	
v2_z	double	YES		NULL	
v3_x	double	YES		NULL	
v3_y	double	YES		NULL	
v3_z	double	YES		NULL	

구성하는 각 점(Vertex)의 좌표가 포함된다. 데이터베이스 테이블의 필드 구조는 Table 2 와 같다.

## 2. 크루스칼 알고리즘

크루스칼 알고리즘은 최소비용 신장 트리(Minimum Spanning Tree) 문제를 풀기 위해 고안된 알고리즘으로 이음선(Edge)을 가중치가 작은 것부터 차례로 정렬한 후, 작은 차례부터 이음선을 선택하여 각 정점을 연결한다. 단, 서로 연결된 정점으로 구성된 부분집합 내에서는 연결할 수 없다는 조건을 두어 트리(Tree)내에 같은 자료가 중복되는 것을 피한다. 이 알고리즘은 Kruskal(1956)에 의하여 제안되었고, 구현은 Fig. 1과 같은 방식으로 이루어진다. 이 알고리즘은 Table 2에서 언급

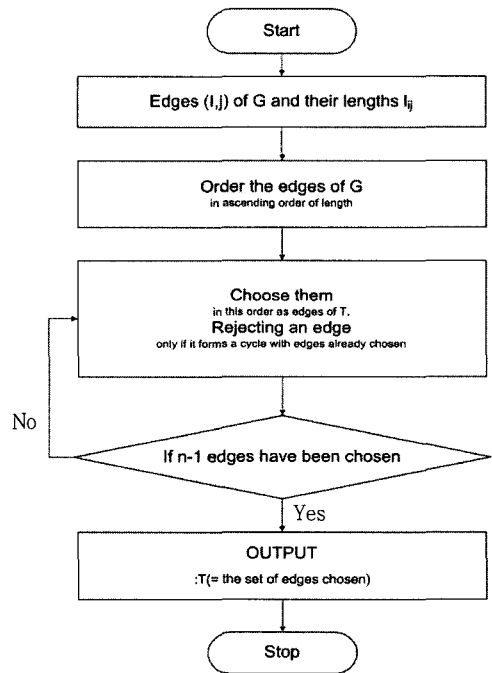


Fig. 1 Kruskal's greedy algorithm for shortest spanning trees

된 Labeling, Rejecting, Ordering의 3가지 함수를 사용하여 이루어진다.

본 연구에서는 크루스칼 알고리즘의 각각의 구성요소를 Table 4 에서 보는 것과 같이 대응시켰다. 원래의 삼각형은 본 연구에서는 Vertex에 해당하는 요소가 되며, 삼각형과 삼각형을 잇는 Edge는 삼각형간의 연결을 통한 경계를 사용하게 된다. 그리고 크루스칼 알고리즘에 사용되는 Length는 삼

Table 3 Functions and their operation for Kruskal's algorithm

Functions	Operation
Double labeling of vertices	Each vertex $i$ carries a double label $(r_i, p_i)$ where $r_i = \text{Root of the subtree to which } i \text{ belongs}$ $p_i = \text{Predecessor of } i \text{ in its subtree}$ $p_i = 0 \text{ for roots}$
Rejecting	If $(i, j)$ is next in the list to be considered, reject $(i, j)$ if $r_i = r_j$ (that is, $i$ and $j$ are in the same subtree, so that they are already joined by edges and $(i, j)$ would thus create a cycle. If $r_i \neq r_j$ , include $(i, j)$ in $T$ .  If there are several choices for $r_i$ , choose the smallest. If subtrees merge (become a single tree), retain the smallest root as the root of the new subtree.
Ordering	For a complete list of $m$ edges, an algorithm would be $O(m \log_2 m)$ , but since the $n-1$ edges of the tree are most likely to be found earlier, by inspecting the $q (< m)$ topmost edges, for such a list of $Q$ edges one would have $O(m \log_2 m)$ .

Table 4 Kruskal's elements for this study

Kruskal's Algorithm	This Study
Vertex	Triangles that contains 3 vertices
Edge	Edges that contains 2 triangles
Length	Elevation difference between 2 triangles

각형의 도심간의 높이차를 이용하게 된다.

### III. 능선추출 알고리즘의 개발

#### 1. 알고리즘의 개요

본 연구에서 구현하는 능선 추출 알고리즘은 크게 3단계의 과정을 거쳐서 작동하게 되며 이는 등고선 자료로부터 불규칙삼각망을 생성하고, 이렇게 생성된 불규칙 삼각망으로부터 구체적인 알고리즘을 구현하는 순서로 진행된다. 이는 GIS를 이용한 유역 추출방법에 비하여 불규칙삼각망으로부터 수치지도모형을 생성하는 과정을 생략할 수 있다. Fig. 2는 GIS를 이용한 방법과 본 연구에서 사용한 방법의 비교를 도시했다. 크루스칼 알고리즘과

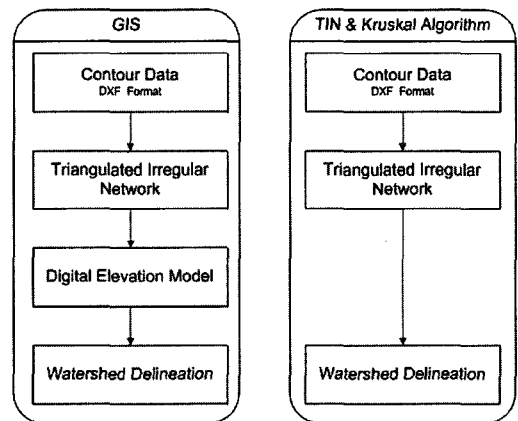


Fig. 2 Comparison between GIS and Kruskal's algorithm method

불규칙 삼각망을 이용해서 유역을 추출하는 과정은 원본자료(DXF 형태)를 불규칙삼각망으로 만든 후 직접 크루스칼 알고리즘을 통해서 처리하게 되고 GIS를 이용한 방법에 비해 처리의 단계를 단순화하는 것을 기대할 수 있다.

세부적인 알고리즘의 개요는 Fig. 3과 같다. 우선, 경사 방향을 설정하여 하나의 삼각형과 그 주변의 삼각형간의 물의 흐름 방향을 결정한다. 그 후에 결정된 흐름방향에 의한 삼각형과 인접 삼각형

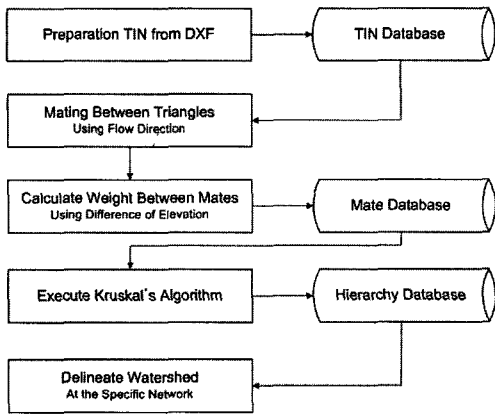


Fig. 3 Flow of watershed delineation using Kruskal's algorithm

을 연결하여 이를 메이트(Mate)라 하고 이를 크루스칼 알고리즘 내에서 경계로 사용한다. 이 연결 중에 연결된 메이트 간의 가중치를 설정하여 이를 크루스칼 알고리즘의 가중치(Weight,  $L_{ij}$ )로 사용한다. 이를 메이트 데이터베이스(Mate Database)에 저장한다. 이를 통해 크루스칼 알고리즘의 수행을 위한 준비가 모두 된 것이므로, 이를 Fig. 1과 같은 순서로 크루스칼 알고리즘을 수행하고, 결과물로 나오는 트리 구조를 저장하기 위해 구성된 위계데이터베이스(Hierarchy Database)에 저장하게 된다.

2. 물의 흐름을 고려한 삼각형간의 연결

크루스칼 알고리즘의 수행에 필요한 경계를 생성하기 위해서는 삼각망 내의 각 삼각형 개체들 간의 연결을 정의하여 그래프로 만들어야 하며, 본 연구에서는 이를 수행하기 위하여 각 삼각형 경사와 물의 흐름을 고려하였다.

각 삼각형은 3개의 점으로 구성되는데 이 점들은 각각 x, y, z 좌표를 가지고 있다. 이 중 z 좌표는 그 점의 고도에 해당하는 것으로 이를 통해 특정 지점의 높낮이를 판별할 수 있다. 그러나 삼각망의 경사의 계산에 대해서는 선행 연구가 진행된 적이

없고, Kim et al.(2000) 등에 의하여 격자형 자료 구조에 대한 경사 분석에 관한 식들이 제시된 적이 있을 뿐이다. 그러나 본 연구에서는 불규칙 삼각망을 사용하므로 이의 특성을 최대한 이용하여 삼각형의 경사에 의해 발생하는 물의 흐름을 기본적으로 2방향 흐름(1방향 유입, 2방향 유출)으로 가정하였다. 이를 위해 삼각형을 구성하는 3점 중에서 고도가 가장 낮은 방향으로 우선적으로 흐름 것이며, 그 다음 점 방향으로 물이 많이 흐를 것이라는 것을 전제하고, 이를 구현하기 위해서 격자형과 달리 인접 삼각형으로의 흐름을 가정하였다. 그러므로 삼각형의 최저점을 공유하는 2개의 경계 방향으로 물이 흐를 것임을 생각할 수 있다. 그 결과 이 경계를 공유하는 다른 삼각형들을 찾아냄으로써 물이 흘러가는 방향에 대한 삼각형을 찾고 이를 통해 구성된 트리가 크루스칼 알고리즘의 그래프와 동일하게 된다.

Fig. 4는 1방향 유입을 가정하여 삼각형의 경사 흐름과 이의 2방향으로의 진행을 보여준다. 유입된 물은 경사 때문에 나머지 두 방향으로 흘러가게 된다. 그러므로 이를 이용하여 물의 이동에 의해 연

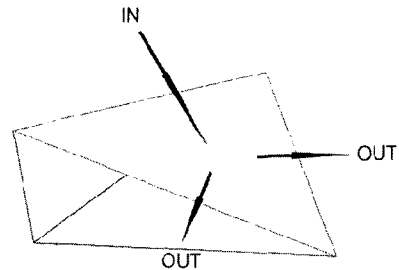


Fig. 4 Waterflow from upper to lower site

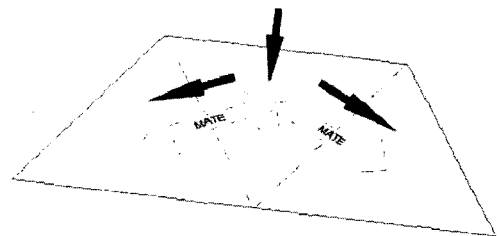


Fig. 5 Description of mating algorithm

결되는 아랫방향의 2개의 인접 삼각형을 연결할 수 있고 이를 통해 삼각형간 연결선을 정의하며, 이를 메이트라 부른다. Fig. 5 에서 이를 설명하고 있는데 물이 흘러가는 방향에 있는 경계를 공유하는 인접 삼각형이 물이 유입된 삼각형의 메이트가 된다.

### 3. 삼각형간 경중률 측정

이렇게 만들어진 메이트는 경중률(Weight)을 통해서 크루스칼 알고리즘에 의한 연산이 가능하다. 그러므로 메이트로 연결된 삼각형간의 경중률을 구해야 한다. 메이트를 구성하는 각각의 삼각형은 3개의 점을 가지고 이 점들은 또 3개의 자료 즉, (x, y, z)좌표를 각각 가지게 된다. 이를 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$Triangle_n = [V_{ij}] = \begin{pmatrix} v_{11x} & v_{12y} & v_{13z} \\ v_{21x} & v_{22y} & v_{23z} \\ v_{31x} & v_{32y} & v_{33z} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

두 삼각형간의 높이차를 계산하기 위하여 각 삼각형의 도심(Centroid)을 생각할 수 있다. 도심은 균일한 평면을 가진 도형의 특성을 나타내기에 가

장 적당한 값으로 각 삼각형의 도심을 구함으로써 각 삼각형의 특성을 파악할 수 있고, 높이 자료를 이용하면 삼각형간의 높이차를 쉽게 파악할 수 있다. 이는 두 삼각형의 도심을 구한 후 각 도심 간의 높이차를 연음으로 가능하고 이는 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Difference between } T_1 \text{ and } T_2 \\ &= Centroid(T_1) - Centroid(T_2) \dots\dots\dots (2) \\ &= \frac{T_1 v_B - T_2 v_B}{3} \end{aligned}$$

이를 통해서 각 메이트의 높이차를 계산하여 이를 경중률로 사용하였고 이 메이트와 경중률을 데이터베이스로 등록하였다. 이를 위해 구성된 Mate Database의 설계 내용은 Table 5 와 같다.

Table 5 Description of mate database

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
FID	int(11)		PRI	0	
mateID	int(11)	YES		NULL	
weight	double	YES		NULL	
root	tinyint(1)	YES		NULL	

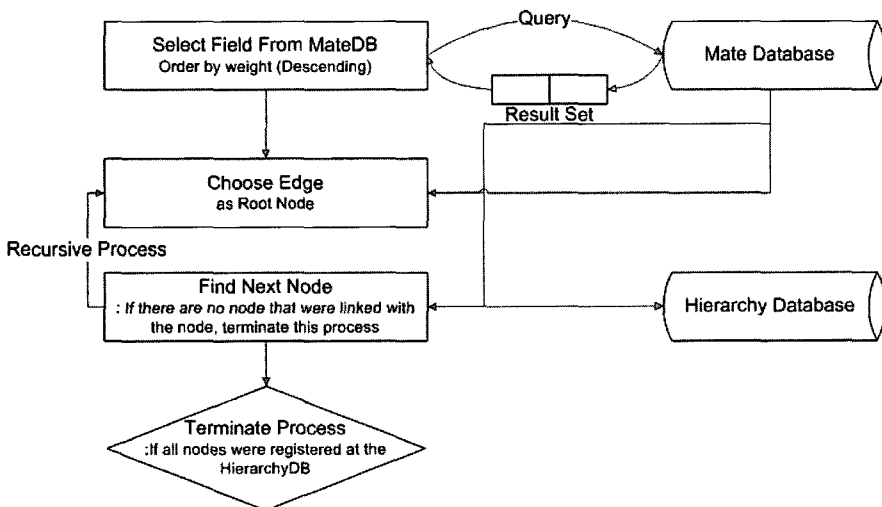


Fig. 6 Operation of Kruskal's algorithm

#### 4. 크루스칼 알고리즘의 구현

크루스칼 알고리즘은 메이트 데이터베이스를 이용한다. 알고리즘은 메이트 데이터베이스에서 경중를 필드의 값이 작은 순서, 즉 우선 순위가 큰 순서로 자료를 정렬한 후 가장 큰 우선순위를 가진 자료를 위계(Hierarchy) 데이터베이스의 최 상위에 저장한다.

첫 번째 경계는 두개의 삼각형으로 구성되어 있는데 이는 크루스칼 알고리즘에서 점(Node) 역할을 한다. 이 자료열은 트리의 최초 구성 자료가 되고 최 상위 자료(Root)가 된다. 그 이후 SQL (Standard Query Language)문을 통해 이 점과 인접한 점을 찾기 위하여 인접한 점을 검색하면, 메이트 데이터베이스에서 최상위점(Root node)과 인접한 삼각형을 찾고 이를 위계 데이터베이스에 저장하게 된다.

이때 최초로 저장되는 삼각형은 각각 레벨(level)과 네트워크(Network) 번호를 부여받게 되는데 네트워크 번호란 그 트리의 고유 번호를 뜻한다. 즉 같은 네트워크 번호를 가지는 삼각형들은 같은 유역에 속한 삼각형이 된다. 레벨(level)은 그 네트워크 내에서 몇 번째 단계에 속해 있는지를 표현하는 것으로 트리의 최상위의 경우는 0번을 가지게 되고 한 단계씩 낮아질수록 큰 level 번호를 가지게 되는 것이다. 이는 Fig. 7 을 통해 잘 볼 수 있다.

크루스칼 알고리즘에서는 한 번 연산에 사용된 자료는 재사용을 금지하므로 위계 데이터베이스에 저장된 삼각형들을 연산에서 다시 사용하지 않는다. 그러므로 크루스칼 데이터베이스의 루트(Root) 필드에 표시를 하여 다음 검색 시 나타나지 않도록 한다. 이러한 과정을 반복하면 모든 경계에 대한 검색과 알고리즘 수행을 통해 위계 데이터베이스 삽입 작업을 완료할 수 있고 그 결과물로 여러 개의 트리가 생성되고 이 트리가 하나의 유역이 된다.

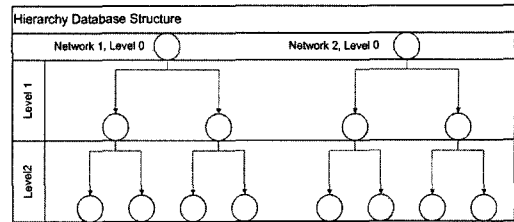


Fig. 7 Description of hierarchy database structure

Table 6 Description of hierarchy database

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
FID	int(11)		PRI	0	
parent	int(11)		PRI	0	
isLeaf	int(11)	YES		NULL	
level	int(11)	YES		NULL	
network	int(11)		PRI	0	

이 트리는 물리적으로는 경사가 작은 것에서 큰 것을 우선순위로 해서 인접한 삼각형간의 연결을 뜻하므로, 높이가 낮은 곳에서 큰 쪽으로 물이 흘러온 방향을 추적하는 것과 같은 의미가 된다. 그러므로 각 트리의 최상위 삼각형(Root node) 즉, 각 Network의 level이 0인 삼각형들은 각각의 소 유역의 유역 출구가 되며 그 Network에 속하는 모든 삼각형들은 유역이 된다는 것을 연산 없이 확인할 수 있다.

#### IV. 적용 및 고찰

##### 1. 괴산군 시험 유역 추출

개발된 알고리즘을 이용하여 국가 지리정보체계의 구축 결과물인 괴산군의 NGIS DXF 자료에 적용하였다. 이는 1:5000 축척 NGIS 36707005도엽으로 실제 면적 6.2 km<sup>2</sup>의 지역이다. 지형 자료를 불규칙 삼각망으로 구성하고, 구성된 삼각망의 각 삼각형과 인접 삼각형간의 경사와 경중를 고려하여 각 삼각형간의 네트워크를 구성한 후, 이 결과물로 크루스칼 알고리즘을 실행 시켰으며 이를

통해 402개의 소유역을 추출하였다.

대상 지역인 피산군의 NGIS 수치지도 및 추출된 등고선도는 Fig. 8에서 볼 수 있으며, 유역 추출 알고리즘을 적용하여 유역을 추출한 소유역들은 Fig. 9와 같으며, 싱크가 생기는 부분을 제외하면, 대략 좌상측 2개, 가운데 부분 1개, 우상측 1개, 좌측 1개로 하여, 총 5개 정도의 유역으로 구분될 수 있으며, 실제로 87개의 소유역으로 구분되어졌다. 결과를 비교하기 위하여 ArcGIS의 Arc Hydro Tools를 사용하여 유역을 추출한 결과를 표시하였으며 그 결과는 Fig. 10과 같이 자동으로 구한 유역과 이를 사람의 손을 거쳐 보정한 결과를 각각 나타낸다. ArcGIS의 Arc Hydro Tools를 사

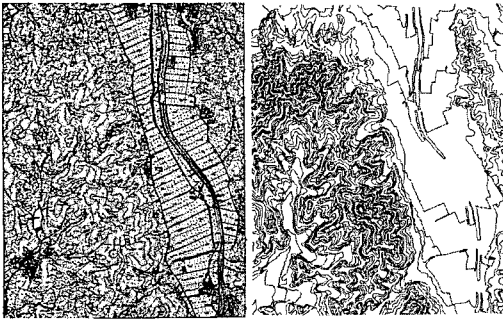


Fig. 8 Digital map and contour map of study area

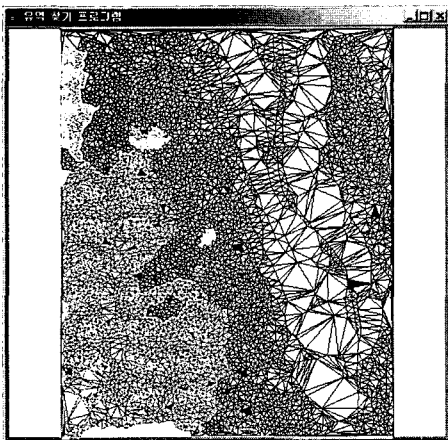


Fig. 9 Delineated watershed using implemented algorithm

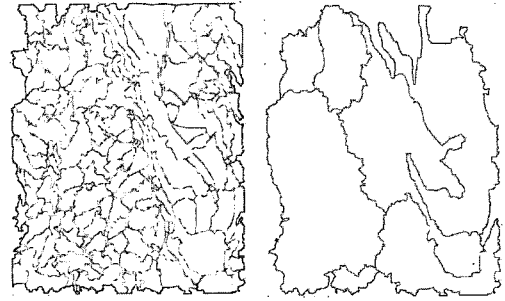


Fig. 10 Left: Delineated watershed using ArcGIS., Right: Adjoint watershed

용하였을 경우는 자동으로 402개의 소유역을 추출 하였으며, 소유역을 인위적으로 묶어서 같은 유역 으로 추출한 결과가 그림이다. 본 연구에서 개발된 프로그램과 비교해 볼 때, 사람의 손을 거쳐 수정 된 유역 경계와 자동으로 구한 유역경계가 매우 유사한 것을 확인할 수 있다.

피산군 시험 유역의 경우 Table 7에서 볼 수 있 듯이 DXF 파일을 통해 불규칙 삼각망을 구성하면 105281개의 삼각형이 생성되며 이를 다시 격자 (Grid)형태의 DEM자료로 변환하면 256680개의 격자가 생성된다. 이에 비해 본 연구는 격자망을 생성할 필요가 없으므로 이의 저장을 위한 공간을 절약할 수 있다는 장점이 있다.

또한, 각 트리의 최상위 삼각형이 바로 유역의 출수점이 되므로 GIS를 이용한 방법과 같이 출수 점을 구하는 연산을 하거나, 사람이 직접 출수점을 지정할 필요가 없어진다는 장점도 가지고 있다.

Table 7 Comparison between this study and GIS

	This Study	GIS
Number of Triangles	105281	105281
Number of Grids	0	256680
Outlet Point Generation	Automatical	Artificial

## V. 결 론

본 연구에서는 불규칙 삼각망과 크루스칼 알고리즘



(Kruskal's Greedy Algorithm)을 이용하여 임의의 지역 내의 유역경계를 추출하는 알고리즘을 구현하였다. 이를 적용하기 위하여 과산군의 1:5000 NGIS DXF를 이용하여 불규칙 삼각망을 구성하고 적용한 결과 시험 지역내에서 402개의 소유역을 추출할 수 있었다. 또한, 별도의 연산 없이 유역의 출구점을 찾아낼 수 있고, 격자 형태의 DEM을 생성하기 위해서 별도의 연산이나 저장 공간 없이 불규칙 삼각망만으로 유역을 추출하는 것이 가능하였다.

그러나, 소유역간의 연결이 정의되지 못하고 있고, GIS를 통해서 유역을 추출했을 때보다 많은 유역이 추출되고 있다. 소유역간을 연결하는 알고리즘의 부재와 이는 GIS등의 유역 탐색에서 이루어지는 전처리 과정(Preprocessing)이 없기 때문이다. GIS의 경우 DEM을 이용하여 유역경계를 추출할 때, 가장 중요한 문제는 얼마나 유역추출에 적합한 DEM을 생성하는가에 달려있는데, 특히 실제 지형에는 없는 함몰(Sink)이 데이터 내에 존재할 경우 하천흐름에 장애 요인이 되어 유역경계를 추출하는데 많은 오류를 가져오게 된다.(Kim 2000) 이를 위하여 ESRI(2005)는 Fill Sink 알고리즘을 통해 지형내의 함몰을 제거해주는 알고리즘을 가지고 있으며, Kim(2000)은 함몰을 둘러싸고 있는 배수지역내에서 가장 낮은 안부점을 경유하는 하천을 추론하여 DEM을 수정함으로써 불필요한 함몰을 제거하는 방법을 이용한 강제배수알고리즘을 제시하고 있다.

이에, 삼각망에 적용 가능한 소유역간의 연결 알고리즘과 함몰을 제거할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하며, 이를 통해 삼각망과 크루스칼 알고리즘을 통해 더욱 실용적이고 정확한 유역경계의 추출이 가능할 것이다.

본고는 농림기술센터에서 시행한 '농업시설의 계획 설계를 위한 CAD와 GIS 자료구조 통합 시스템 개발(2003103-03-2)' 결과의 일부임

## References

1. Choi, Jin-Yong and Engel, Bernard A., 2003, Real-Time watershed delineation System Using Web-GIS, 17(3): 189-196.
2. Environmental Sysyem Research Institute (ESRI), 1992, GRID command references, Redlands, California, USA.
3. Environmental Sysyem Research Institute (ESRI), 2005, Arc hydro tools-tutorial, Redlands, California, USA.
4. Fairfield, and Leymarie, Water Resource Reservation, 1991, Drainage networks from grid digital elevation models, 30(6): 1681-1692
5. Jenson, S. K., and Domingue, J. O., 1988, Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, Programming engineering remote sensing, 54(11): 1593-1600.
6. Kang, Ho-Yun, Cho, Sok-Ho, Lee, Jong-Chool, Kang, In-Joon, 2001, Construction of Three Dimensional Land Information System Using Triangulated Irregular Network In Cadastral Field, Korean Society of Civil Engineers 2001 Symposium, 2191-2194. (in Korean)
7. Kim, Eui-Myong, Lee, Suk-Kun, Kim, Tae-Gyun, 2000, Generation and Slope Analysis of Triangulated Irrugular Network Using Radial Sweep AlgorithmThe Journal of Korean Society of Civil Engineer, 20(6): 701-708. (in Korean)
8. Kim, Ji-Eun, Lee, Geun-Sang, Cho, Gi-

- Sung, Jang, Yeong-Yul, 2000, The application of GIS and RS for extracting Sumjin Watershed hydrologic-parameter, The Journal of GIS Association of Korea, 8(2): 257-274. (in Korean)
9. Kruskal, J. B., 1956, On the shortest spanning subtree and the traveling salesman problem., Proceedings of the American Mathematical Society, 7: 48-50
10. Martz, L. W., and Garbrecht, J., Computing Geoscience, 1992, Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models, 18(6): 747-761.
11. O'Callaghan, J. F., and Mark, 1984, The extraction of drainage networks from digital elevation data, D. M., Comput. Vis. Graph. Image Process., 28: 323-344
12. Park, Meejeong, 2005, Three-dimensional geographic data modeling with relational DBMS, fractal and component based software engineering techniques, Ph. D. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea. (in Korean)
13. Tucotte, R., Fortin, J. P., Rousseau, A. N., Massicotte, S., and Villeneuve, J. P., 2001, Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network, Journal of Hydrology, 240: 225-241.