

지형자료의 계층화를 이용한 하계망 일반화*

김남신**

Generalization of the Stream Network by the Geographic Hierarchy of Landform Data*

Nam-Shin Kim**

요약 : 본 연구의 목적은 지형자료에 대한 계층화 알고리즘을 개발하여 하계망을 일반화하고자 하였다. 하계망은 계층적인 구조를 갖기 때문에 일반화를 위해 선형사상들에 대한 지형자료의 계층화가 요구된다. 하계망 일반화의 절차는 하계망의 계층화, 차수별 선택과 제거, 그리고 알고리즘 적용으로 진행하였다. 계층화는 하계망의 고도에 따른 방향 결정, Stroke Segment 서열화, Strahler 차수화로 진행하였으며, 선형사상의 선택과 제거는 지형자료의 질의를 통해 차수와 선의 길이를 기준으로 처리하였다. 개선된 Simoo 알고리즘은 선형사상의 곡률을 낮추고 완만화에 효과적이었다. 연구결과는 공간적으로 다양한 계층구조를 갖는 사상들에 대한 일반화를 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 선형사상, 계층화, 선택과 제거, Simoo 알고리즘

Abstract : This study aims to generalize the stream network developing algorithm of the geographic hierarchy. Stream networks with hierarchy system should be spatially hierarchized in linear features. The generalization procedure of the stream networks are composed of the hierarchy of stream, selection and elimination, and algorithm. Working of stream networks is composed by the decision of direction on stream networks, ranking of stroke segments, and ordering by the strahler method, using geographic data query for controlling selection and elimination of the linear feature by scale. Improved Simoo algorithm was effective in enhancement and decreasing curvature of linear features. Resultantly, it is expected to improve generalization of features with various spatial hierarchy.

Key Words : Linear Feature, Hierarchy, Selection and Elimination, Simoo Algorithm

1. 서론

선형사상은 지리정보를 구성하는 요소 중에서 가장 많은 정보량을 차지하고 있다. 선형사상은 선분(segments)들의 연속체이지만 지도학적으로 이들의

조합, 배열, 밀도, 색상 등에 따라 다양한 공간현상의 묘사가 가능하다(한균형, 1996; Robinson, 1984). 전통적으로 등고선, 하천, 도로는 지형도에서 지표공간을 표현하는 핵심적인 요소이다. 이들의 연속적이고 입체적인 특징은 선의 간격과 두께 및 색상만으로도 충분히

* 본 논문은 2005년 대한지리학회 춘계학술대회에서 발표한 내용을 수정 보완한 것임.

** 한국교원대학교 지리교육과 강사(Lecturer, Department of Geography Education, Korea National University of Education)

kns9027@dreamwiz.com

히 표현된다. 지도학적으로 선형사상은 지표사상(feature)의 표현 외에도 지도화를 통해 공간적인 법칙성과 관계를 파악할 수 있게 해준다. 도로망과 하계망은 이러한 이동, 흐름 및 관계에 대한 공간적 특성을 잘 반영한다(Wang and Müller, 1998).

GIS에서 레이어(layer)들은 대축척 지도들을 여러 도엽 결합하여 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 결합된 레이어는 제한된 크기 안에 사상들이 집중되기 때문에 서로 붙게 되어 알아볼 수 없게 된다. 이 경우 이용자들은 수정과정을 거쳐 불필요한 선들을 제거하거나 일괄처리 과정을 통해 사용한다. 그러나 등고선과 같은 단일 구조의 사상들은 이와 같은 과정을 통해서 가능하지만, 하천과 도로를 구성하는 선들은 Arc의 연속체가 아니고 공간현상의 계층적 특징을 반영하기 때문에 수정이나 편집이 쉽지 않다(Kirlin, 2004).

수치지도에는 도로, 하천 레이어의 계층적인 정보가 입력되어 있지 않기 때문에 네트워크 및 하계망과 같은 공간분석이나 다축척 지도제작에 직접적으로 활용하기에는 무리가 있다. 이러한 문제 해결을 위해 하천이나 도로와 같은 선형 사상들은 공간적인 특징을 고려한 계층적 정보화와 이에 따른 일반화 방법의 개발이 필요하다(김남신, 2004b; 2004c; Moreno and Torres, *et al.*, 2005).

선형사상 일반화 방법은 선택 및 제거, 단순화를 일반적으로 적용한다. 그러나 도로와 하천은 공간상에서 단순한 선만으로 연결된 관계 외에도 선(arc), 절절(node), 면(polygon)이 조합되어 나타난다. 이와 같은 특징은 선형사상들에 대한 공간적 연결(network) 유형에 따른 계층정보화와 일반화가 요구된다(황철수, 1993; Richardson and Müller, 1991; Richardson, 2005). 따라서 선형사상의 일반화 절차는 연결유형에 따른 계층정보화, 그리고 일반화 원리인 선택과 제거, 단순화가 적용되어야 한다. 또한 지도 전문가에 의한 주관적이고 경험에 의존한 일반화 보다는 GIS에 기법을 적용하여 객관적이고 효율성을 높이기 위한 일반화가 필요하다. 이에 본 연구는 선형사상 중에 연결형태가 비교적 복잡하지 않은 하계망을 대상으로 지형자료의 계층화 알고리즘 개발을 통한 자동화된 일반화를 시도하고자 하였다.

2. 이론적 배경

일반화는 지도의 복잡성을 줄이고 간결하게 표현하기 위해 시작되었다. 일반화에 대한 연구는 선형데이터를 대상으로 알고리즘개발 및 이에 대한 평가에 관한 연구가 지도학과 GIS 관련 분야에서 활발하게 진행되어 왔다(김감래 외, 1992; Cheng, 2001).

선형사상 일반화는 주로 선형사상 단순화(simplification)가 연구되어 왔다(Christensen, 1999; Richardson and Mackaness, 1999; Saalfeld, 1999). 선형사상을 중심으로 연구가 진행된 이유는, 선이 지도에서 가장 많은 정보량을 차지하고, 선의 단순한 형태적 특성 때문에 다른 지도요소들에 비해 알고리즘이 비교적 용이했기 때문이다. 이에 대한 연구는 임계치(tolerance)를 기준으로 자료점(vertex point)의 제거, 추가, 이동을 적용하고 있다. 선형사상을 구성하는 자료점의 제거는 주로 단순화(simplification)를 그리고 추가와 이동은 완만화(smoothing)에 적용된다. 이에 연구는 다음 표 1과 같이 정리된다.

알고리즘에 의한 일반화는 선형 요소들의 단순화를 빠르고 쉽게 처리할 수 있는 장점은 있지만, 단순화 정도가 커질수록 자료의 공간적 변위가 커지게 되어 원자료의 형태를 제대로 유지하지 못하는 문제점이 있다(Weibel, 1996). 또한 지리적으로 네트워크로 연결되어 계층성이 나타나는 도로망이나 하계망은 이와 같은 단일 사상에 적용 가능한 알고리즘만으로는 일반화가 제한을 받는다. 따라서 이들은 지리적인 계층구조에 따라 선형사상의 제거나 선택에 의해 사상들을 정리해야 하며, 다음으로 알고리즘을 적용해야 효과적이다.

3. 연구내용 및 방법

하계망 일반화는 호수와 같은 면(polygon)요소의 연결 상태 및 점과 같은 노드의 존재 유무에 따라 일반화의 적용 원리가 다르다. 본 연구는 하천에 다른 인접 요소가 존재하지 않는 하계망을 대상으로 계층정보화와 그에 따른 일반화를 실시하였다. 사례적용 지역은

표 1. 일반화 알고리즘

알 고 리 즘	일반화 방법	적용 방법	대상	참고 문헌
Nth Point	삭제	없음	선	김감래 외(1992)
Töpfer's Radical Law	삭제	축척의 역제곱근	점	Töpfer and Pillewizer (1966)
Douglas-Peucker	삭제	임계 길이	선	Douglas and Peucker(1973), 황철수(1993;1999)
Fractal Enhancement	삭제, 추가	함수에 의한 중심점 생성	선	Dutton(1981)
Lang	삭제	임계 길이	선	Lang(1969)
Brophy	삭제	임계 길이	선	Brophy(1972)
Chaiken	삭제, 추가	임계 길이	선	이호남(1996), 박경렬(1999)
Boyle	삭제, 추가	임계 길이	선	Boyle(1970)
Perpendicular Distance	삭제	임계 길이	선	김감래 외(1992)
Euclidian Distance	삭제	임계 길이	선	김감래 외(1992)

충청북도 보은군 속리산 일대의 남한강, 금강, 낙동강 유역이다(그림 1).

하계망 일반화는 수치지도에서 하계망 추출과 결합 및 수정, 하계망의 방향 결정, 계층화, 지리적 자료의 질의(spatial query)에 의한 하계망의 선택과 제거, 그리고 선형변형을 위한 알고리즘 적용과정으로 진행하였다(그림 2). 하계망은 수치지도 1:5,000에서 추출한 하계망 300도엽을 합쳐 사용하였다. 수정 과정에서 셰류(2112)는 자료의 물리적 연결관계 오류가 많기 때문에 위상적인 연결 환경을 설정해 자동으로 연결시켰다. 수정과 편집을 마친 하계망은 방향성을 분석하였다. 하계망의 방향 결정은 하천의 흐름방향을 분석하는 것으로 하계망을 차수별로 서열화시킬 수 있으며, 하계망 분석에도 응용할 수 있다. 이러한 방향분석은 하계망의 Arc에 출발점(Fnode)와 종착점(Tnode) 노드를 등록시킨 다음 이 노드의 고도값을 수치고도모델(DEM)에서 찾아 값이 낮은 방향으로 Arc의 방향을 결정한다. 다음 과정은 하계망에 대한 Stroke Segments이다. 이는 하나의 Arc에 해당하는 하계선들을 등록하여 하천 단위로 하계선이 정보를 갖도록 입력해주는 과정이다(Richardson, 2005). 마지막으로 차수화과정이다. 본 연구에서는 Strahler의 차수기입 법을 적용하였다. Strahler 차수기입법은 하계망이 같은 단위로 만나게 되면 한차수씩 증가시키고, 다른 단위로 합류하

게 되면 합류하천의 큰 단위를 차상 차수 값으로 입력하는 방법이다. 하계망에 대한 계층정보가 완성되면 질의를 통해 차수와 길이를 기준으로 일반화를 실시하였다. 하계망 제거 기준 결정은 1cm를 결정하였다. 지리적 자료의 질의는 *If (Order Selection) and (Length Selection) then Elimination*을 적용하였다. 수치지도 작성 규칙에 따르면 1:25,000은 200m, 1:50,000은 250m를 제거 기준으로 규정하고 있으나 실제로는 지도에서는 매우 복잡하게 나타난다. 따라서 지형도를 분석한 결과 축척별로 도상길이 1cm를 적용하는 것이 보다 합리적인 것으로 판단되었다(김남신, 2003b). 마지막으로 Simoo 알고리즘을 적용하여 단순화와 완만화를 진행시켰다. Simoo 알고리즘은 하계망이나 도로 망과 같이 직선형의 Arc Segment가 많아 두개의 노드로 입력된 부분에서 발생하는 오류방지를 위해 수정·보완한 알고리즘이다.

4. 선형사상의 공간적 연결관계 유형

지도상에서 선형사상은 선형요소와 면요소로 표현된다. 즉 선은 곡률과 네트워크에 의해 나타내는데 여기에는 도로와 하계망이 대표적이다. 면요소는 선에 의

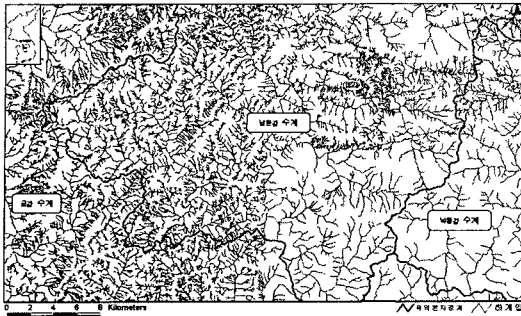


그림 1. 사례적용 지역

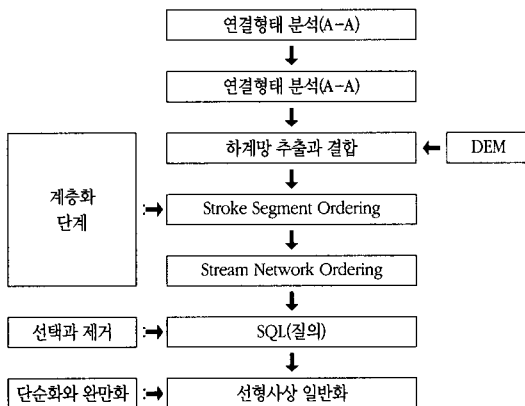


그림 2. 일반화 절차

한 면요소와 선의 폐합에 의한 면요소가 있다. 선에 의한 면요소는 등고선의 간격과 곡률에 따라 지형면을 나타내며 입체적인 특징 표현도 가능하다. 선의 폐합에 의한 면요소는 가옥이나 시가지 등과 같이 선이 출발점으로부터 출발하여 출발점으로 끝나게 되는 유형이다. 이와 같이 지형도상의 선형사상은 선을 어떻게 조합하고 표시하느냐에 따라 다양한 지리적인 공간현상을 지도학적으로 표현할 수 있다.


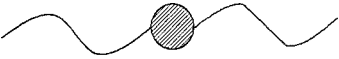

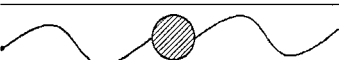
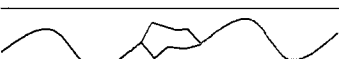
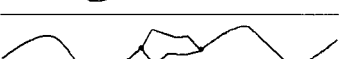

이 중에서 공간현상의 이동이나 공간현상의 변화를 추정할 수 있게 해주는 요소는 하천과 도로이다. 이들은 단순히 선의 연결체로서 도화되지만 이들이 결합되고 배열되는 양상에 따라 지표 현상을 이해하는 기준을 제공한다. 즉 이들은 선의 연속체이지만 선과 선이 결합되는 곳에는 결절노드(network node)를 이루면서 공간현상의 핵심지를 형성한다(Kirlin, 2004). 결절노

드는 점(point)과 면(polygon)을 이루는데 이들은 축척에 따라 점 또는 면으로서 표현된다.

이와 같은 연결의 특징을 갖는 선형사상들에 대한 일반화는 선의 기하학적 특징을 변형시키기 위해 알고리즘을 적용시키는 일반화(예: 등고선)와는 달리 보다 복잡한 과정이 요구된다. 즉 노드들이 선과 결합되는 형태(표 2)에 따라 일반화를 적용시키는 기준이 달라져야 한다(김남신, 2004c; Richardson, 2005).

표 2에 나타난 것은 선형사상의 연결관계 유형을 축척에 표현되는 유형을 7가지로 나타낸 것이다. A-A형은 하천에서 가장 일반적인 단순한 형태의 연결유형으로 소축척과 대축척에서 나타난다. GIS 환경에서 이러한 형태의 일반화 유형은 복잡하게 연결되는 노드들이 존재하지 않기 때문에 상대적으로 일반화가 쉽다(김두일과 김종석, 1998; 황철수, 1999). A-P-A, A-N-A, A-B-A, A-N-B-N-A, A-N-B-P-A 등의 유형은 선형사상에 면요소와 결절노드, 혹은 분지(bifurcation)형의 도로망, 하계망이 복잡하게 연결되어 있는 형태이다. 이들은 구릉대나 하천의 중하류, 그리고 도로에서 흔히 볼 수 있는 공간현상이다. 이와 같은 유형은 선요소를 일반화시키면 면요소와 선요소가 분리되거나 혹은 분지선들이 분리되어 네트워크로서 표현되지 못하는 지도학적 오류가 발생할 수 있다. 따라서 일반화를 진행하기 앞서 선요소와 면요소의 관계, 분지선들과 면 혹은 노드의 공간적 관계를 분석하는 과정이 필수적이다. 또한 축척 감소에 따른 면요소의 변형 즉 물리적인 축소 혹은 점으로의 전환을 고려한 후 선에 대한 일반화를 적용시키는 과정이 요구된다. 따라서 여기에는 알고리즘 적용, 선요소와 면요소의 공간적 연결관계분석, 분지선들의 연결관계 분석, 면요소의 형태 변형 등보다 복잡한 일반화의 원리가 적용되어야 한다. 본 연구에서는 공간적인 연결관계 유형에 대한 일반화를 위한 전단계로서 비교적 단순한 연결관계를 갖는 A-A형의 하계망을 대상으로 일반화를 적용하고자 한다.

표 2. 선형사상의 연결 유형

선형사상의 연결형태	구분	지리사상	축척
	Arc-Arc (A-A)	하천	소축척- 대축척
	Arc-Polygon-Arc (A-P-A)	하천-저수지, 도로-도시(면)	소축척- 대축척
	Arc-Node-Arc (A-N-A)	저수지(점)-하천, 도시(점)-도로	소축척
	Node-Arc-Polygon (N-A-P)	저수지(점)-하천-저수지(면), 도시(점)-도로-도시(면)	소축척- 대축척
	Arc-Bifurcation-Arc (A-B-A)	하천-하계망-하천	소축척- 대축척
	Arc-Node-Bifurcation- Node-Arc(A-N-B-N-A)	도로-도시(점)-도로망 -도시(점)-도로	소축척
	Arc-Node-Bifurcation-Polygon -Arc(A-N-B-P-A)	도로-도시(점)-도로망- 도시(면)-도로	소축척- 대축척

5. 계층화 절차에 따른 알고리즘 개발

일반화는 크게 하계망의 계층화와 계층에 따른 일반화 과정으로 진행하였다. 하계망의 계층화는 고도와 밀접한 관련이 있기 때문에 수치고도모델(DEM)을 가지고 계층화하였다. 수치고도모델을 이용하여 하계망의 방향을 결정하였으며, 이에 따라 Strahler 방식에 따른 차수화 알고리즘을 개발하였다. 그리고 축척에 따른 선형요소 일반화에서는 지리적 자료의 질의(SQL)에 의한 하계망의 선택과 제거, 기하학적 형태 변형을 위한 알고리즘 적용과정으로 진행하였다.

1) DEM을 이용한 하계망 방향바꾸기

지도상에서 하계망은 선을 입력하는 방향에 따라 벡터(vector)의 방향이 결정되기 때문에 선들의 방향이 일치하지 않다(그림 3). 하계망에서 선의 방향은 일관성 있게 입력되어야만 하계망을 계층화시킬 수 있다. 즉 하천의 흐름 즉 유수의 방향을 따라 선들이 입력되어야 한다. 선의 방향 결정은 지형도상에서 고도를 통해서 알 수 있는데, 하천은 값이 높은 지역에서 고도가 낮은 지역으로 흘러가기 때문이다. 이 원리에 따라

GIS에서 하계망의 방향을 결정하기 위해서는 수치고도모델(DEM)이 필요하다. 그림 3은 하계망이 교차되는 지점의 고도값을 DEM에서 찾아 나타낸 것이다. 각 지점의 고도값과 선의 방향이 일치하지 않는 것을 알 수 있는데, 즉 하계망 A, B, C의 고도값은 값이 낮은 지점에서 높은 곳으로 선의 방향이 입력되어 있다.

이와 같이 선의 방향이 하천의 흐름과 일치하지 않는 경우 일일이 손으로 수정하여 바꿀 수 있지만 그 양이 너무 많을 경우 자동으로 방향을 바꿀 수 있어야 한다. GIS에서 이를 처리하는 과정은 첫째, 하계망의 선(arcs) 양끝 지점에 노드레이어를 만든다. 둘째, 선분의 노드레이어와 일치되는 지점의 고도값을 수치고도모

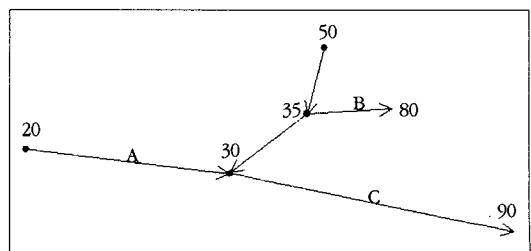


그림 3. 하계망 레이어의 선의 방향

```

알고리즘 1 : 하계망의 방향전환
{
Sel arc 1
If (F_elev < T_elev) ne (Arc_dir) /* 고도와 선의 방향 비교
Flip Arc_dir
}
    
```

그림 4. 하계망 방향 전환 의사코드

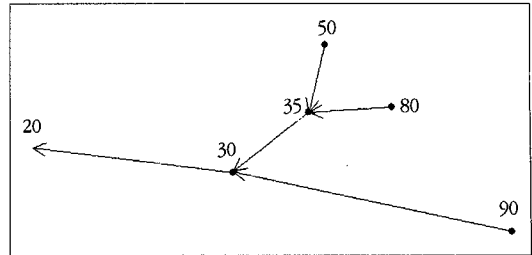


그림 5. 고도에 따른 하계망의 방향 전환 결과

델에서 찾는다. 셋째, 고도값이 낮은 지점의 노드를 출발지점(F-elev), 높은 지점의 노드를 종착지점(T-elev)로 데이터베이스에 등록을 한다. 넷째, 각 선의 방향과 노드의 출발지점과 종착지점의 고도에 따른 방향과 일치하면 선의 방향을 바꾼다. 이로써 선들의 방향은 자동으로 바뀌게 된다. 이와 같은 절차에 대한 의사코드(pseudo-code) 과정과 처리결과는 그림 4, 5와 같다.

2) 방향에 따른 Stroke Segment화

하계망에 입력된 선들의 방향이 결정된 후에는 선들을 하계망의 차수를 구성하는 단위(stroke)별로 분류(segments)해야 한다. 즉 하나의 하계망일지라도 여러 선들의 집합으로 구성될 수 있기 때문에 차수단위로 단위화시켜야 한다. 그림 6에서와 같이 arc1, arc2는 한 단위를 구성하는 하계망이고 arc3, arc4도 차수 구분하기 위해서는 arc2에서 분기되는 같은 단위의 하계망이다. 따라서 arc1과 arc2를 하나의 단위로 바꾸어야 하며 arc3, arc4도 같은 단위가 되어야 한다. 따라서, 실제로 그림 7과 같은 Arc의 ID를 갖는 구조에서 하계망의 구성단위를 논리적으로 체계화시키기 위해 표 3

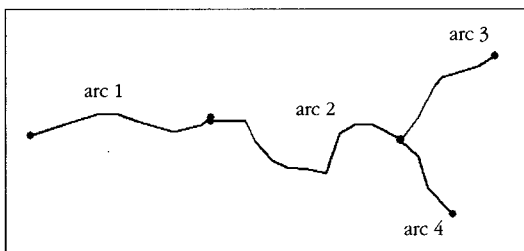


그림 6. 하계망의 stroke segment 단위

과 같은 원리에 따라 ordering 한다.

여기에서 하계망의 출구(outlet)인 아이디(ID4)를 1단위, ID4에 연결되는 분기선 ID3, ID5를 2단위, 다시 ID4-ID3에 분기되는 선은 ID1, ID2를 3단위로 ordering한다.

이를 자동화시키는 절차는 첫째, 출구선(ID4)을 찾아 단위 아이디 s_order를 1로 부여한다. 둘째, ID4의 연결선(connection)을 찾는다. 셋째, 연결된 선(ID3, ID5)이 2개 이상이면 단위값 s_order를 2로 부여하고 1개이면(즉 그림 6의 arc1과 같은 연결구조) s_order를 1로 부여한다. 여기서 1개 이하이면 하계망 차수단위가 1개 이상의 선으로 구성되어 있다는 것을 의미한다. 넷째, 마지막에 선택된 선의 연결선을 찾아가며 이 과정을 반복적으로 진행하여 완성된다(그림 8, 9).

3) 하계망의 차수화

하계망에 대한 Stroke Segments 단위들이 결정되면 이 단위들을 기초로 하계망에 대한 차수화가 가능해진다. Stroke Segments 단위들은 하천의 마지막 출구를 기준(1)으로 차수단위에 따라 값이 증가하며, 분지 연

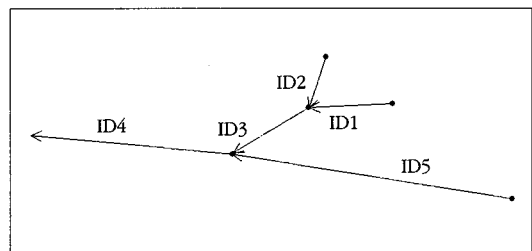


그림 7. 하계망의 arc 구성

표 3. 하계망의 Stroke Segments 절차

진행절차	Stroke Segments	s_order
1차(ID4)	ID4	S1
2차(ID4)	ID3, ID5	S2
3차(ID4-ID3)	ID2, ID1	S3

알고리즘 2: Stroke Segment 서열화

```

{
    sel arc1
    Sel Arc_Connection /* 분기선을 찾음
    If Arc_Connection ge 2 /* 분기선의 새로운 Stroke
    S = 2
    else if
    S = 1 /* 같은 차수단위로 코드부여
    S = S + 1
}
}

```

그림 8. Stroke Segment 서열화 의사코드

결선(connection)은 같은 단위로 증가되도록 하였다. Strahler 차수화 방법에 따라 1차수를 찾은 다음, 이에 연결된 선(connection)과 Stroke Segment의 s_order 값이 같으면 2차수로, 그렇지 않으면 s_order의 큰 값을 입력하는 방법으로 진행한다(표 4).

이와 같은 과정에 대한 전산화 절차를 따르면, 첫째, 1차수를 선택하기 위해 Stroke Segment의 Dangle이면서 s_order 값이 1이 아닌 것을 선택하여 SO에 1을 입력한다. 둘째, 2차수 입력과정은 선이 Dangle이 아니면서 SO가 1이 아닌 선을 1개 선택한다. 셋째, 선택된 선의 상위 차수를 선택한다. 즉 선택된 선의 분기연결선(connection)을 찾아 이 선의 s_order 값과 두번째 단계에서 선택된 선의 s_order 값을 비교하여 분기선

의 s_order 값이 작으면 분기연결선을 선택한다. 넷째, 분기연결선의 두 s_order를 비교해 값이 같으면 상위 차수는 SO값에 1을 증가시켜 SO 값을 2로 저장한다. 다섯째 만약 두 s_order의 값이 다르면 이중 큰 값을 SO의 차수값으로 저장하면서 반복적으로 진행한다(그림 10, 11). 이를 사례지역에 적용한 결과는 그림 12와 같다.

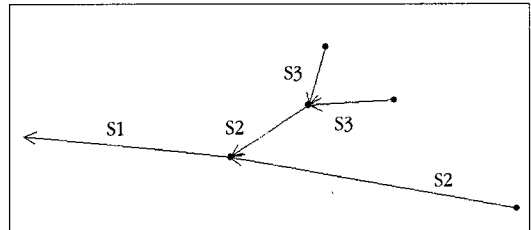


그림 9. 하계망의 Stroke Segments 결과

계층적 차수화 결과 사례지역은 7차수까지 분류되었으며 하계망의 차수서열 내에서의 stroke segment가 하계망의 차수에 관계없이 많은 것을 알 수 있다(표 4). 이는 선의 입력에 따른 arc의 단위로서도 볼 수 있지만 사례지역이 구조지형적으로 복잡한 지역으로서 단층활동에 따른 하계망 Segments의 수가 많은 것으로 판단된다.

6. 지리자료의 질의에 의한 차수선택과 제거

인쇄된 형태의 정적인 지도와 달리 GIS환경에서의 지

표 4. 하계망의 Stroke Segments 절차

진행 절차	Strahler
1차 dangle s_order ne 1	1
2차	2
3차	2

알고리즘 2: 차수분석 DB화

```

{
if Dangle and S ne 1 /* 1차수 선택
    SO = 1
{
if arc ne Dangle and SO ne 1
    sel arc1
    tmp = Sv
    sel Arc_Connection /* 분기선을 찾음
    {
    if sel Arc_Connection(Sv) le tmp /* 1차수를 제외한 선을 선택하여 이선의 상류를 선택
        if AC_Sv1 eq AC_Sv2 /* 2차수값 저장
            SO = 2
        else if
        {
            sel Sv1 lt Sv2
            SO = Sv1 /* 분기선의 값이 다른 큰 값을 차수값으로 저장
            SO = SO +
        }
    }
}
}
}

```

그림 10. 하계망 차수분석 의사코드

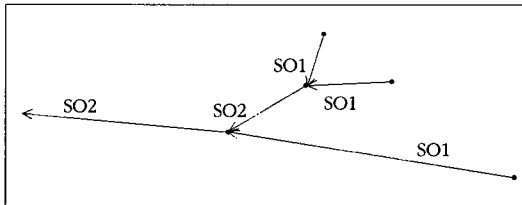


그림 11. 하계망의 차수 완성결과



그림 12. 계층화에 의한 하계망 차수화 결과

리사상들은 축척변동에 따라 유연하게 표현하거나 분석할 수 있어 다축척, 다목적으로 활용영역이 확대되고 있다. 이와 같이 지리사상들에 대한 운용을 유연하게 할 수 있는 GIS의 기능은 데이터베이스에 대한 질의(SQL)를 통해 선택과 제거 및 분석이 가능하기 때문이다.

하계망에 대한 공간적 질의는 “선택” 과 “제거”를 통해 계층화된 하계망을 일반화시킬 수 있다. 그렇지만

선택과 질의를 적용하기 앞서 적용기준에 대한 분석이 선행되어야 한다. 하계망은 저차수를 중심으로 길이 기준으로 하계망을 선택하거나 제거함으로써 일반화 적용에 적당하다.

하계망의 제거기준은 국립지리원의 수치지형도 작성 내규(1995)에 따르면 하계망과 도로망에 대해 1:25,000은 200m, 1:50,000은 250m로 규정을 하고 있

표 5. 사례지역의 하계망 분석 결과

차수	차수별총수(stroke segment)	차수별 길이	
		총길이	평균
1st	6,856(7,263)	1,916,602	263
2st	2,516(4,058)	782,583	192
3st	948(2,100)	403,814	192
4st	331(1,114)	234,420	210
5st	24(414)	106,504	257
6st	3(90)	21,636	240
7st	1(133)	42,341	318
계	15,172	3,465,559	238.86

첫째, sel: dangle
resel: length > 250 and strahler >= 1

/* 하계망의 Dangle line 선택
/* 길이 250m 이하인 1차수 제거

둘째, sel ne dangle
asel for strahler >= 2

/* 하계망의 Dangle line 아닌 선 선택
/* 하계망 2차수 이상을 선택

그림 13. 하계망 차수분석 의사코드



그림 14. 지리자료의 질의에 의한 일반화(1:25,000)



그림 15. 지리자료의 질의에 의한 일반화(1:50,000)

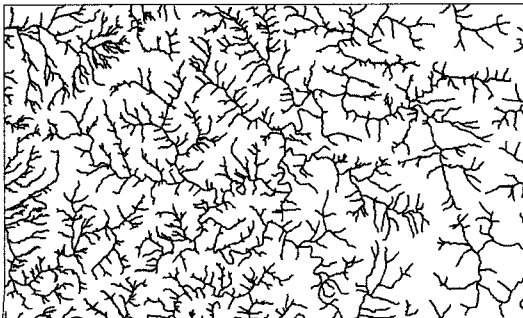


그림 16. 지리자료의 질의에 의한 일반화(1:100,000)

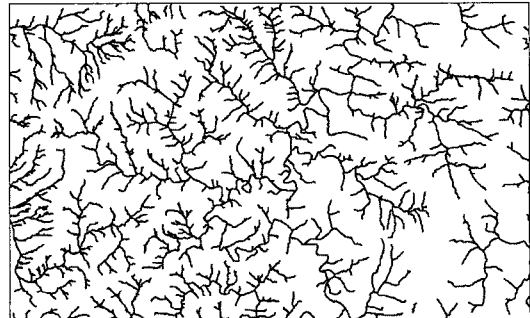


그림 17. 지리자료의 질의에 의한 일반화(1:125,000)

표 6. 축척에 따른 하계망의 선택과 제거

축척	제거기준(m)	남은양(%)
25,000	250	11,635(76)
50,000	500	8,703(57)
100,000	1,000	6,681(44)
125,000	1,250	5,585(36)

다. 그렇지만 이 기준은 도상의 길이가 1:25,000은 0.8cm, 1:50,000은 1cm 길이까지 표현되기 때문에 복잡해지는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 지형도를 이용하여 도화된 도로나 하계망에 대해 분석을 해본 결과 도상 길이가 1cm 이상을 중심으로 나타낼 수 있었다. 따라서 하계망은 1cm를 제거 기준으로 정하였다.

하계망에 대한 공간적 질의과정은 1:25,000을 기준으로 예를 들면 그림 13과 같다.

이상의 과정이 결합되면 1:25,000 축척이 된다. 여기서 완성된 선형사상 축척에 대해 이 과정을 반복적으로 진행하면 50,000, 100,000, 125,000 축척으로 일반화를 진행할 수 있다(그림 14, 15, 16, 17).

공간적 질의 과정에 따른 일반화 결과는 1:25,000에서는 24%, 125,000에서는 64%의 하계망이 제거되었다(표 6).

7. 선형사상 일반화와 평가

하계망에 대한 선택과 제거를 통해 일반화를 진행한 후에는 축척을 고려해야 하기 때문에 선의 물리적인 특징도 변형되어야 한다. 즉 대축척에서 선의 곡률이 복잡한 상태에서 소축척에도 그대로 유지된다면 선들이 불거나 꼬이게 되며 지도학적 세련미를 잃게 된다. 따라서 축척감소에 따라 선의 곡률을 낮추고 부드럽게 해야 할 필요가 있다.

선을 변형시키는 알고리즘은 자료점의 제거에 의한 단순화와 자료점의 이동에 의한 일반화를 함께할 수 있는 Simoo(김남신, 2003a)와 자료점 제거에 의한 선의 단순화를 진행하는 Douglas-Peucker 알고리즘

(1973)을 비교하여 적용하였다. Simoo 알고리즘의 기본 원리는 선형사상을 이루는 3개의 자료점(vertex)를 분석하여 편각, 수선, 평균 vertex 길이를 임계치로 적용한다. 이 원리는 선(arc)를 구성하는 선요소 중에서 단일 2개의 노드(node)로 구성된 선분(segment)에서는 선이 끊기는 문제가 발생하였다(그림 18, 19)(김남신, 2004a). 이와 같은 문제는 선형사상의 특성에 기인하는 것으로 등고선과 달리 하계망과 도로망은 인위적이 직선화로 인해 실제로는 선분으로도 충분히 표현되는 구간이 많기 때문이다.

본 연구에서는 선의 구성요소인 선분은 단순화나 완만화를 진행하여도 직선으로 그대로 유지되어야 하기 때문에 알고리즘적용 부분에서 선분을 그대로 유지하는 변형방법 적용하였다(그림 20, 21).

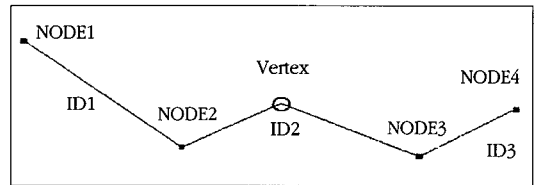


그림 18. Simoo 알고리즘의 문제점

두 알고리즘을 비교하여 적용한 결과는 선형사상이 어느 정도 축척에 따라 완만화되었는지를 확인하기 위해 평균각을 분석하였으며, 일반화를 적용한 후에 선의 위치변동은 벡터편차(vector displacement) 분석으로 이루어 졌다. 벡터편차는 지도도식 규정인 지표의 수평변위 오차 10m 이내를 기준으로 하였다(표 7). 평가결과 축척이 감소함에 따라 선의 곡률은 Simoo가 낮아지고 Douglas-Peucker 알고리즘은 커졌다. 수평변위 오차는 Douglas-Peucker는 낮고 Simoo는 커지는 경향을 보였지만 지도제작 기준의 범위를 벗어나지 않았다. 정리하면 개선된 Simoo 알고리즘은 축척의 변화에 적용하기 적합할 뿐만 아니라 선도 부드러워지는 특징을 보였다(김남신, 2003a; 2004b).

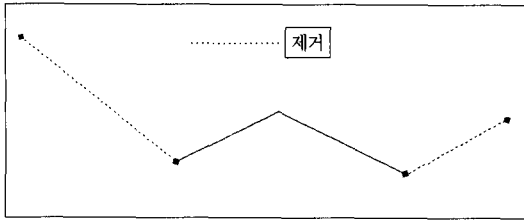


그림 19. simoo 변형 전:선분이 제거로 인한 오류발생

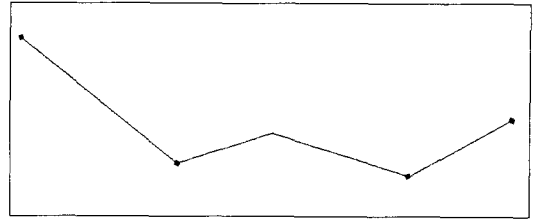


그림 20. 변형 후 선분이 유지됨

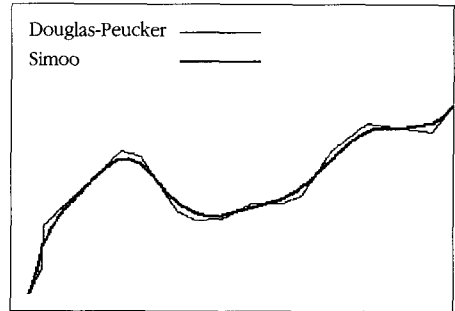
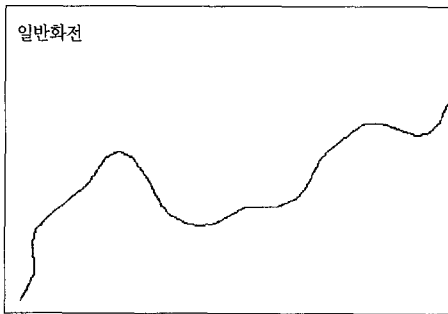


그림 21. 개선된 Simoo와 Douglas-Peucker의 비교

표 7. 개선된 Simoo와 Douglas-Peucker의 하계망 적용 결과

축척	평가	일반화전	비교	
			Douglas-Peucker	Simoo
1:25,000	평균각	9.1	19.2	7.3
	벡터편차		0.5	2.59
1:50,000	평균각	9.3	23.9	6.34
	벡터편차		1.04	3.6
1:100,000	평균각	9.4	26.93	5.83
	벡터편차		1.5	4.3
1:125,000	평균각	9.3	29.0	5.52
	벡터편차		2.13	5.01

8. 요약 및 결론

선형사상은 기하학적인 도형표현의 의미보다는 지표공간을 조직해가는 공간현상의 결과물이다. 공간사상들에 대한 표현은 점, 선, 면의 3가지 기본적인 요소로서 간단히 표현된다. 그렇지만 표현된 사상들은 공간적 법칙과 원리들이 드러나야 되며 축척이 변해도 일정하게 유지되어야 한다. 본 연구는 지표공간의 흐름

과 계층성을 대표하는 선형사상 중에서 하계망을 대상으로 계층화에 따른 일반화를 시도하였다.

하계망 일반화는 하계망의 계층화와 축척에 따른 선형사상의 제거와 선택, 그리고 알고리즘의 적용 과정을 걸쳐 진행하였다. 계층화는 수치고도모델의 고도정보를 바탕으로 하계망의 방향을 결정하고 이들의 연결관계에 따라 Strahler 방식에 따른 차수의 서열화를 통해 이루어졌다. 축척에 따른 지리자료의 질의를 통해

도상길이 1cm를 기준으로 1:25,000, 1:50,000, 1:100,000, 1:125,000 등의 축척별로 선형사상의 선택과 제거를 통해 지도를 완성하였다. 마지막으로 축척변동에 따른 선형사상의 기하학적 곡률 변형을 위해 Simoo 알고리즘의 단점을 개선하여 적용한 결과 효과적인 단순화와 완만화를 적용할 수 있었다.

공간현상의 계층적인 구조는 점, 선, 면형 사상의 연결관계의 유형에 따라 다양하게 나타난다. 선형사상의 계층적인 구조로 인해 일반화는 일률적으로 알고리즘이나 방법을 적용할 수 있는 것보다는 계층적인 연결관계 유형에 따라 보다 다양한 일반화 원리와 방법들이 개발되어야 할 것이다. 향후 일반화에 대한 연구와 적용은 공간현상의 분포 유형을 고려하는 방향으로 전개되어야 할 것이다. 뿐만 아니라 이러한 측면의 연구는 공간분석, WebGIS 및 공간데이터 저장 압축 알고리즘 개발 등에 기여할 것으로 기대된다. 본 연구에서 수행된 결과를 자연지리(지형학, 수문학) 분야에서 활용하면 보다 정교하고 다양한 지형분석이 가능할 것이다.

참고문헌

김감래 · 이호남 · 박인해, 1992, "지도 일반화에 따른 단순화 알고리즘 평가에 관한 연구," 한국측지학회지, 10(2), 63-71.

김남신, 2003a, "선형사상 일반화를 위한 알고리즘 개발에 관한 연구," 한국지도학회지 3(1), 43-50.

김남신, 2003b, "지형분류도 제작을 위한 축척별 면요소의 선택에 관한 연구," 한국지형학회지, 10(3), 452-462.

김남신, 2004b, "지도제작에 따른 선형사상의 공간적 오류 개선을 위한 일반화," 한국지리정보학회지, 7(1), 39-51.

김남신, 2004c, "규칙기반 모델링에 의한 하계망 일반화에 관한 연구," 대한지리학회지, 29(4), 633-642.

김두일 · 김종석, 1998, "선형사상에 따른 단순화 알고리즘의 반응 특성 연구," 대한지리학회지, 33(4), 623-634.

국립지리원, 1995, 수치지도 작성내규, 국립지리원.

대한측량협회, 1994, 지도도식규칙, 대한측량협회.

한균형, 1996, 지도학 원론, 민음사.

황철수, 1993, "다축척 수치지도 구축을 위한 선형 사상의

일반화에 관한 연구," 지리학논총, 21, 17-34.

황철수, 1999, "Douglas-Peucker 단순화 알고리즘 개선에 관한 연구," 한국측지학회지, 17(2), 117-128.

Cheng, T., 2001, Quality assessment of model-oriented generalization, <http://www.geo.unizh.ch>.

Christensen, H. J., 1999, Cartographic line generalization with waterlines and medial-axes, *Cartography and Geographic Information System*, 26(1), 19-32.

Douglas, H. and Peucker T.K., 1973, Algorithms for reduction of the number of points required to represent a digitized line or its character, *The Canadian Cartographer*, 10(2), 112-123.

Kirlin, P., 2004, Cartographic generalization of polylines stored in quadtrees, <http://www.cs.umd.edu/Honors/reports/pkirlin.htm>.

Moreno, M., Torres M., Levachkine S., and Fajardo I., 2005, The Automatic generalization of the multiscale geographic information, <http://gis.esri.com/library/userconf/rpc02/pap0173/p0173.htm>.

Robinson, A.H., 1984, *Element of cartography*, John Wiley & Sons.

Richardson, D.E, 2005, Generalization of road network, http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/rd/apps/map/gen/genm_e.html.

Richardson, M.W. and Mackaness, W., 1999, Computational processes for map generalization, *Cartography and Geographic Information System*, 26(1), 3-5.

Richardson, D.E. and Müller J.C., 1991, Rule selection for small-scale map generalization in Buttenfield, B.P and McMaster, R.B., (eds.) *Map Generalization: Making rules for Knowledge Representation*, Longman. 136-149.

Saafeld, A., 1999, Topologically consistent line simplification with the Douglas-Peucker algorithm, *Cartography and Geographic Information System*, 26(1), 7-18.

Visvalingam, M., 1999, Aspect of (line) generalization: a discussion paper, <http://www2.doc.hull.ac.uk/CSBG/ica/ica-old.htm>.

Wang, Z. and Müller J.C., 1998, Line generalization .

based on analysis of shape characteristics, *Cartography and Geographic Information Systems*, 25(1), 3-15.

Weibel, R., 1996, A typology of constraints to line simplification, *Proceedings of 7th International Symposium on Spatial Data Handling*, 911-914.

교신 : 김남신, 363-791, 충북 청원군 강내면 다락리 산7번지 한국교원대학교 지리교육과(kns9027@dreamwiz.com, 전화 : 043-230-3836, 팩스 : 043-231-4948)

Correspondence : Nam-Shin Kim, Department of Geography Education, Korea National University of Education, Cheongwon-Gun Chungbuk, 363-791, Korea.(Phone : 043-230-3836, Fax : 043-231-4948)

최초투고일 05. 7. 8

최종접수일 05. 9. 15