地理學論叢 21號(1993. 2), 17-33.

다축척 수치 지도 구축을 위한 선형 사상의 일반화에 관한 연구*

황 철 수**

〈차 례〉

主要語 : 다축척 수치 지도, 일반화, 단순화 지료, 계층적 자료구조, 형태적 대표점.

Ⅰ. 서 론

1. 연구 목적

지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)은 지표 공간 사상의 위치 자료를 획득하기 위해서 기존의 지도, 측량 자료, 항공사진, 위성 이미지 등 다양한 수단을 동원하고 있지만, 지금까지는 대표적으로 지도-일반도와 각종 주제도-를 가장 많이 이용하고 있는 실정이다.

그런데 GIS에서 수용 가능한 수치 데이터베이스를 구축하기 위해서 기존의 아날로그 지도를 자료원으로 이용하는데는 다음과 같은 문제가 따른다. 첫째, 분석 목적에 적절한 축척을 갖는 지도를 취득하기 어렵다. 따라서 이와 다른 축척의 자료를 얻고자 할 때는 알맞은 사진 축척을 갖는 항공 사진을 이용해 다시 도화해야 한다. 둘째, 동일한 지역에 대해서도 요구되는 자료의 해상도에 차이가 있을 때 기존에 구축된 데이터베이스는 쓸모가 없으며 결국 축척에 따라 자료를 구축해야 한다. 이로 인해 동일 지역에 대한 공간 자료가 중복되어 일차적으로 메모리의 낭비를 유발한다. 또한 GIS 시스템을 운용하는데 가장 큰 장애 요인이 대규모 지리 자료의 입력과 관리에 있음을 감안한다면, 결국 이것은 자료관리체계(Data Base Management System)의 효율적 운용을 저해하게 된다.

이같은 문제를 해결하기 위해서는 각기 다른 공간 해상력(spatial resolution)을 갖는 위치 자료를 효과적으로 통합·저장하여 사용자가 요구하는 축척에 해당하는 공간 자료를 쉽게 취득하고 공간 질의(spatial query)가 가능하도록 '다축척 자료관리체계(多縮尺 資料管理體系, Multiscale DBMS)'를 개발하여 자료의 중복으로부터 야기되는 여러 가지 부정적 요소를 제거하여야 한다.

* 본 논문은 필자의 석사논문을 요약한 것임. 논문을 지도하여 주신 유근배 선생님께 감사드립니다.
** 서울대학교 대학원 석사과정 졸업

본 연구에서는 자료 취득과 공간 질의로 크게 분류할 수 있는 다축척 자료관리체계의 개발 과정에 있어서 전자의 경우인 다양한 축척의 자료를 효과적으로 취득하기 위한 다축척 수치 지도 구축에 목적을 두었다.

한편, 축척의 변환은 자료가 갖고 있는 공간 해상력의 변화를 가져오며, 그것은 곧 지도 사상의 일반화 정도와 밀접하게 연결된다. 그러므로, 다축척 수치 지도(多縮尺 數值 地圖, Multiscale Digital Map)를 구축하기 위해서는 먼저 지도 사상의 일반화 과정과 그 정도(level of details)를 공간자료구조(spatial data structure)에 삽입시키는 방법이 필요하다.

본 연구의 목적은 점·선·면으로 구성되어 있는 지도 사상 중에 GIS의 위치 정보로 가장 많은 부분을 차지하고 있는 선형 사상(line feature)에 대해서 다축척 수치 지도를 개발하는데 있다. 구체적으로는 첫째, 다축척 수치 지도 제작에 필요한 단순화 방법과 이와 관련하여 지리 자료의 취득에 효율적인 공간자료구조를 개발하고 둘째, 개발한 다축척 수치 지도 루틴의 정확도와 효율성을 측정하여 그 타당성을 검증한다. 세째, 다축척 수치 지도가 실제적 이용에 적합한지 평가하기 위해 현재 진행되고 있는 방법과 비교한다.

2. 연구 방법

다축척 수치 지도를 구축하기 위해서는 축척별로 지리 자료를 저장하고 사용자의 요구에 따라 자료를 신속하게 재현(restore)할 수 있는 '공간 자료구조'와 축척의 변환 과정에서 필요한 단순화를 수행하기 위한 효과적인 '단순화 방법'이 필요하다. 따라서 효과적인 '공간자료구조'와 '단순화 방법'을 개발하기 위해서 지금까지 진행된 방법들을 면밀히 분석하여 문제점을 찾아 이를 해결할 수 있도록 연구 방향을 설정하였다.

개발된 다축척 수치 지도를 평가하기 위해 다축척 수치 지도 루틴에 포함된 단순화와 관련하여 단순화 결과에 대한 정확도와 효율성을 측정하여 기존의 단순화 방법에 비해 향상된 점을 확인하였다. 즉, 가장 간단하면서 극명한 방법으로 다축척 수치지도에서 추출된 자료와 기존의 단순화 방법으로 추출한 자료를 중첩시킴으로써 시각적으로 양자를 비교하여 그 차이를 확인하였다. 다음으로 이러한 정성적 평가를 객관적으로 뒷바침하기 위해 원래의 자료와 단순화 결과에 대하여 선 길이와 변위(displacement)에 따라 발생한 다각형의 면적을 계산하여 위치적 정확도를 확인하였다. 이와 함께 효율성을 비교하기 위해 중앙처리장치의 처리 시간(CPU clock time)을 측정하였다.

한편, 다축척 수치 지도의 결과를 검증하기 위해서 디지타이저(digitizer)를 이용하여 아날로그 방식의 도엽을 수치화한 자료를 이용하였다. 그리고 다축척 수치 지도의 실제적 유용성을 확인하기 위해서 국내에서는 공식적으로 표준화된 수치지도가 아직 제작되어 있지 않아 대신에 항공 사진을 해석입체도화기(analytical stereoplotter)로 도화한 자료를 이용하여 검증하였다.

Ⅱ. 축척 변환을 위한 기초

1. 공간 자료 참조를 위한 자료구조

'다축척(多縮尺, multiscale)'은 다양한 상세도(혹은 해상력, level of details)를 의미한다. 따라서 다축척 수치 지도의 구축은 곧 다양한 상세도를 자료의 중복(redundancy)을 최대한 억제하면서 어떻게 공간자료구조(空間資料構造)에 투영할 수 있는가의 문제이다. 그래서 이러한 공간자료구조는 지도 사상을 구성하고 있는 요소마다 그 특성에 따라 상세도를 결정하여 이를 자료구조에 삽입한 다음, 사용자의 요구에 따라 필요한 상세도의 자료를 추출할 수 있는 자료 구조를 의미한다. 따라서 선형 사상에 대한 다축척 수치 지도를 구축하기 위해서는 선형 사상을 구성하는 요소(점)들이 각각 갖고 있는 상세도의 '계층적' 성격에 따라 공간 자료를 통합적으로 저장할 수 있는 자료구조가 요구된다.

현재까지 계층적 자료구조를 구현하는데는 피라미드구조나 사지수형구조 그리고 이진트리 구조 등이 가장 일반적으로 이용되고 있다 (그림 1). 그런데 보통 피라미드나 사지수형구조는 공간자료모델이 래스터인 경우에 구현하기 편리

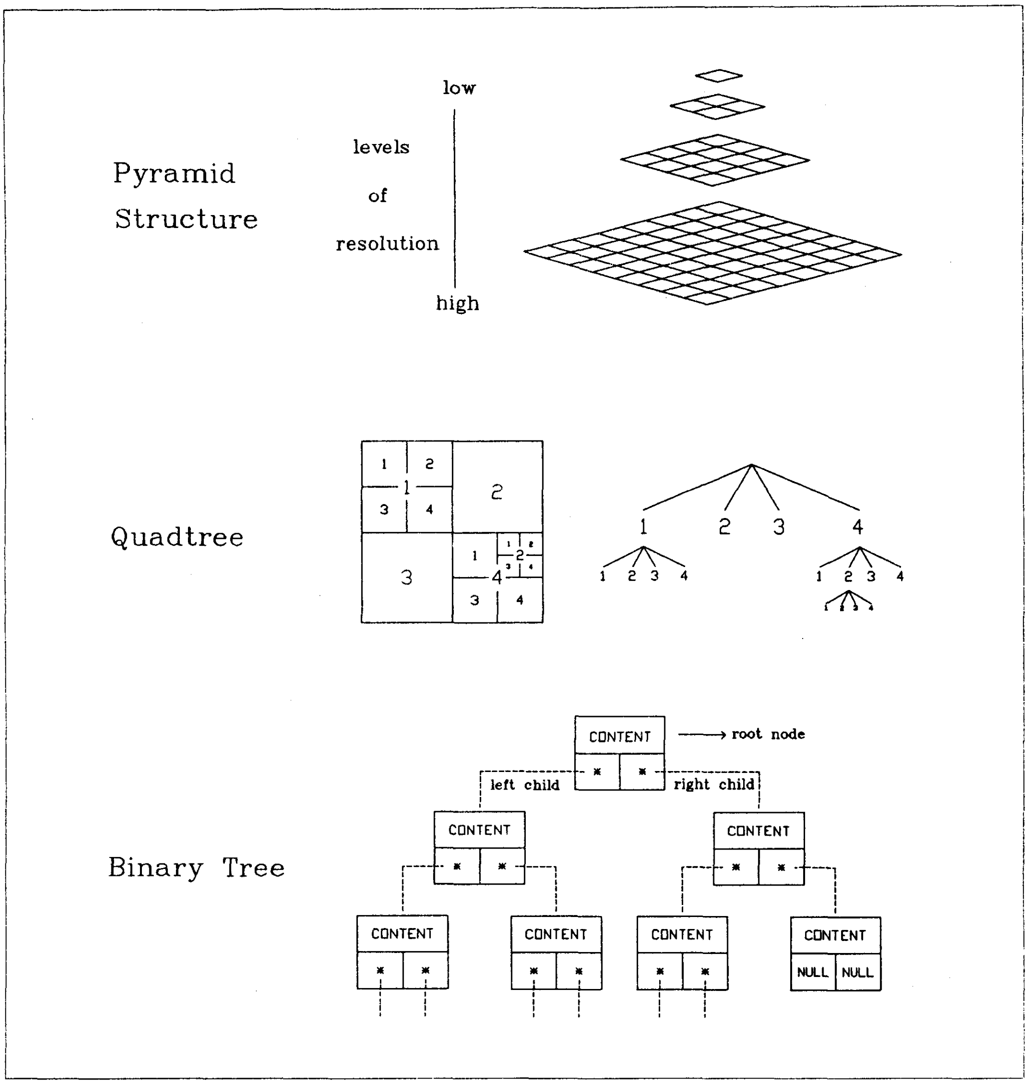

그림 1. 계층적 자료구조

하고 벡터인 경우에는 매우 복잡한 절차가 요구된다. 따라서 여기서는 입력된 벡터 자료에 대해서 융통성이 많은 이진트리구조를 이용해서 계층적 자료구조로 구현하였다.

2. 선형 사상에 대한 단순화

본 연구에서 대상으로 하는 선형 사상에 대한 단순화는 가능한 한 원래의 기하학적 특성을 최소로 변화시켜 공간적 정확도(spatial accuracy)를 유지하면서 불필요한 자료를 제거함에 그 목적을 둔다. 컴퓨터를 이용한 선형 사상의 단순화의 실제적 과정은 크게 두 가지 영역으로 나뉘어 질 수 있다. 즉, 특정한 방법론에 의해 반복적으로 동일한 결과를 추출하는 객관적 영역과 이와같은 방법론을 선택해야 하는 주관적 영역이 그것이다. 양자의 관계는 상호 밀접히 작용하며 이로부터 한 방법론에 대한 논리적인 타당성이 결정된다.

선형 사상의 단순화는 크게 제거(elimination), 원활화(smoothing), 변위(displacement), 강조(enhancement) 로 나눌 수 있는데 보통 절차상 '제거'가 우선 되며 대부분의 연구가 여기에 집

중되어 왔다. 본래의 축척보다 소축척 자료의 추출을 목적으로 하는 본 연구에서도 선형 사상을 구성하고 있는 점(point)들에 대한 '제거'에 바탕을 둔 단순화 방법이 요구된다. 따라서 지난 20 여년 동안 진행된 다양한 연구를 정리하고 평가하여 연구에 적합한 방법론을 이끌어 내었다. 우선 단순화 과정에 삽입된 기하학적 외연성(外延性)에 비추어 단순화 방법론을 분류하였다(그림 2).

위에서 정리한 대표적 선형 사상의 단순화 방법들 중에 본 연구에서 논의하려는 다축척 수지 지도에 적합한 방법을 선택하기 위해서는 크게 네 가지의 요인을 고려하여야 한다.

첫째, 단순화 결과의 '공간적 정확도(spatial accuracy)'에 대한 평가이다. 이를 평가하는 방법은 크게 선이 갖는 고유한 특성을 정량적으로 측정하는 방법과 원래 사상과 단순화된 사상 사이에 생긴 변위(displacement)를 측정하는 방법으로 분류할 수 있다(그림 3). 전자의 경우 '외부적 단순화'와 '국지적 단순화'가 전반적으로 취약한데 비해 다른 방법들 사이에는 특징적인 차이점이 없으며, 후자의 경우 상대적으로 뚜렷하게 '전역적 단순화'의 결과가 우월한 면을 보인다. 특히 Douglas-Peucker 알고리듬은 그 결과가 인간의 심리적 요인에 크게 좌우되는 수작업에 의한 단순화 결과와 매우 높은 상관 관계가 있음이 밝혀졌다(Mcmaster, 1987b, 330-346).

둘째, 다축척 수치 지도를 구축하기 위해 축척과 상관 관계가 있는 지표, 즉 기하학적 단순화 지표가 존재하고 또 그 지표는 가능한 한 개념적으로 명료하여 사용이 간편하여야 한다. '내생적 단순화'로 분류된 모든 방법들이 나름대로의 최소기준치(tolerance value)를 가지고 있지만 축척과 상관 관계가 명시적으로 나타나는 것은 없어 대부분 경험적 연구나 간접적 방법으로 기준치를 구한다. 한편, '확대한 국지적 단순화'에 요구되는 최소기준치는 상대적으로 복잡한 성격을 갖고 있다.

세째, 다축척 수치 지도는 단순히 다양한 축척들로 지도를 중복하여 저장함으로써가 아니라 각각의 분리된 공간적 구조를 가지고 있으면서 이것이 데이타베이스의 차원에서 통합된 형태로 저장되고 관리되어 하나의 자료원으로부터 다양한 축척의 자료가 신속하게 추출되어야 한다. 앞서 이와 같은 목적을 위해 필요한 자료구조로 계층적 자료구조가 적합함을 살펴보았고 따라서 계층적 자료구조와 효과적으로 연계될 수 있는 단순화 방법이 요구된다. '전역적 단순화'는 절차의 성격상 이에 적절하다.

네째, 단순화는 가능한 계산상의 효율성을 가져야 하며 그것은 보통 중앙처리장치의 처리 시간(CPU processing time)을 기준으로 한다. 그런데 계산상의 효율성은 단순화 과정의 복잡도와 직결되는 특성 때문에, 분류된 단순화 방법들은 일반적으로 '외부적 단순화,' '국지적 단순화,' '확대한 국지적 단순화,' '전역적 단순화'

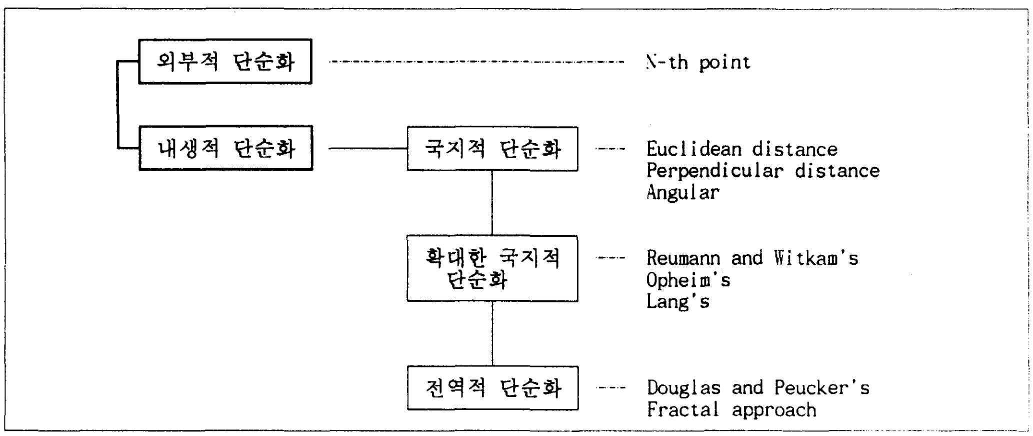

그림 2. 단순화 방법의 분류

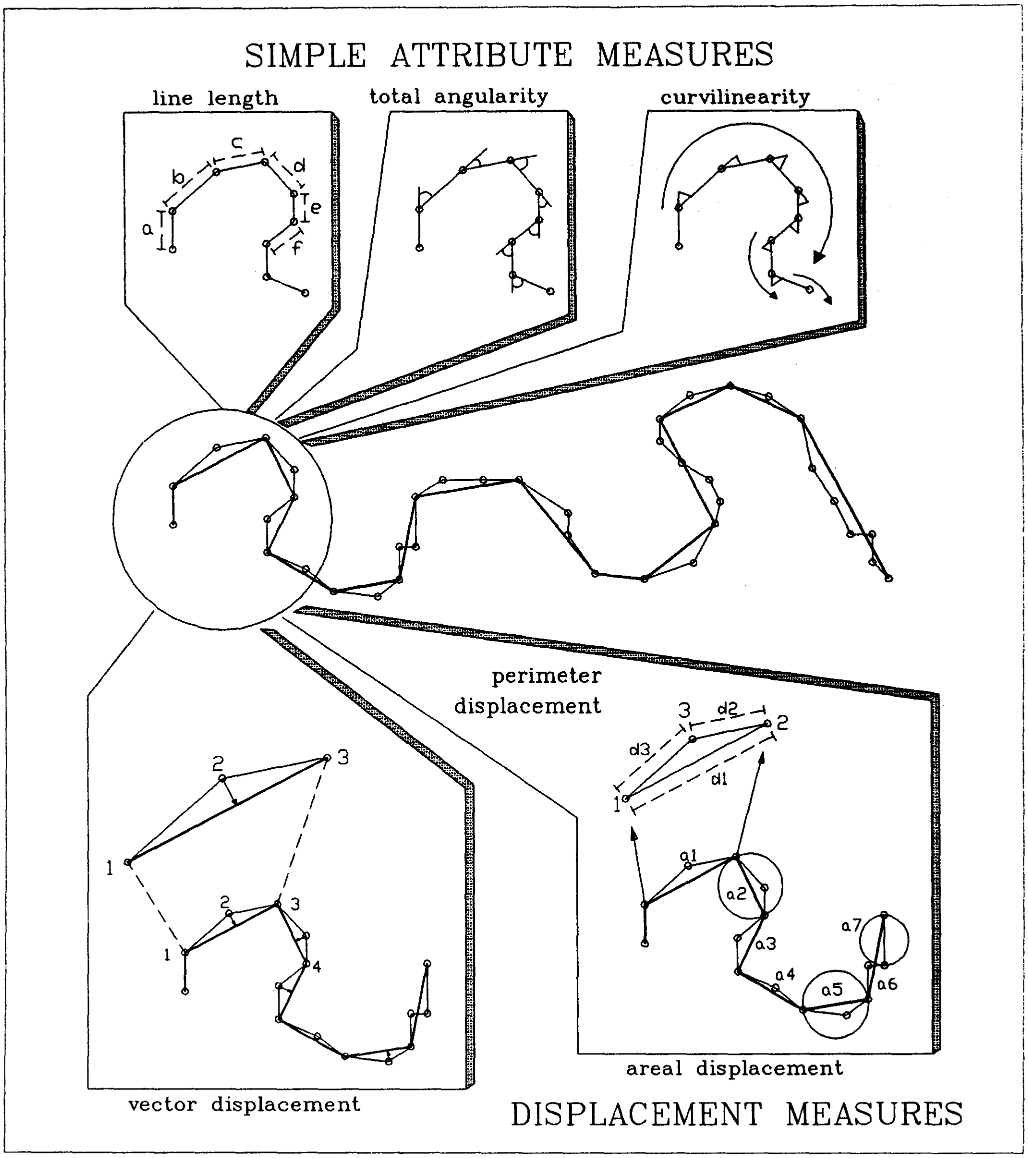

그림 3. 단순화 결과에 대한 공간적 정확도 측정 (Mcmaster,1987a, 103)

의 순서로 처리 시간이 짧아진다(White, 1985, 27-28).

이와 같은 평가 기준으로부터 전역적 단순화 방법중에 Douglas-Peucker 알고리듬이 전반적으로 다축척 수치 지도의 단순화 과정에 적합하다고 판단된다. 한편, 단순화의 목적이 단지 여분의 자료에 대한 제거가 아니라, 이를 바탕으로 한 자료구조의 실현과 궁극적으로 완전한 다축척인 공간적 데이터베이스의 창출로 연결됨을 고려하면, 그 단순화 과정이 반복적 수행이 아닌 일회성 성격의 작업이라는 점에서 알고리듬의 복잡도로 인해 계산상의 효율성이 떨어지는 단점은 크게 염두하지 않았다.

본 연구에서는 전역적 단순화 방법중에 '프랙탈 접근법'은 잠재력에도 불구하고 평가 대상에서 제외하였다. 그것은 아직 자연의 불규칙한 지리적 사상에 과연 프랙탈적인 자기닮음성(self similarity)이 존재하는가에 대한 논의가 확실하

게 정리되지 않았기 때문이다.

Ⅲ. 다축척 수치 지도의 설계

1. 단순화 과정과 자료구조의 결합

1) 단순화 지표의 추출과 Tree로 삽입

선형 사상의 단순화를 위해 계층적 자료구조를 이용하는 연구는 Buttenfield(1986)에 의해 계층의 수가 정해진 단순한 '스트립트리(strip tree)'로부터 Douglas-Peucker 알고리듬을 응용한 스트립트리로 발전하였다. 최근 Cromley (1991)는 이러한 스트립트리를 응용한 '계층적 선형 사상의 단순화' 방법을 제안하였다. 그러나 그는 계층적 선형 사상의 단순화 결과에 대한 검증(기하학적 정확도, 계산상의 효율성)을 수행하지 않았을 뿐만 아니라 근본적인 계층적 구조의 정확도를 파악하지 못하였다. 본 연구에서는 다축척 수치 지도의 구축에 Cromley가 제안한 '계층적 선형 사상의 단순화 방법'을 이용함에 있어 이미 전역적 단순화(Douglas-Peucker 알고리듬)와 계층적 자료구조가 갖는 장점에 대해 검토한 바 있다.

우선 '계층적 선형 사상의 단순화 방법'을 단순화 단계에 따라 그 결과가 자료구조로 조직되는 과정(그림 4)과 이를 이용한 단순화 과정으로 나누어 살펴보았다(그림 5). 계층적으로 저장된 선형 사상에 대한 단순화를 위해서 단순화 정도의 지표로 각 node 마다 저장하고 있는 수선의 길이를 이용한다. 예를 들어, 지표의 수치를 '7.0'으로 정했다면 7.0 이상의 수선의 길이를 갖는 점을 추출한다. 즉 처음에 'P49 node'와 비교하면 그 값이 15.84로 7.0를 초과하므로 차하의 왼쪽 node인 'P26 node'로 그 비교는 진행된다. 'P26 node' 역시 기준치를 초과하므로 다시 차하의 'P16 node'가 비교된다. 여기서 그 값이 기준치에 미치지 못하므로 같은 계층에 있으면서 'P26 node'의 오른쪽 차하 node인 'P20 node'가 비교되며, 같은 맥락으로 'P33 node,' 'P30 node,' 'P43 node,' 'P57 node,' 'P53 node,' 'P62 node'가 차례로 비교된다. 그 결과 단순화 지표의 수치를 '7.0'으로 정했을 때 P26, P33, P49, P57이 추출되고 최종적으로

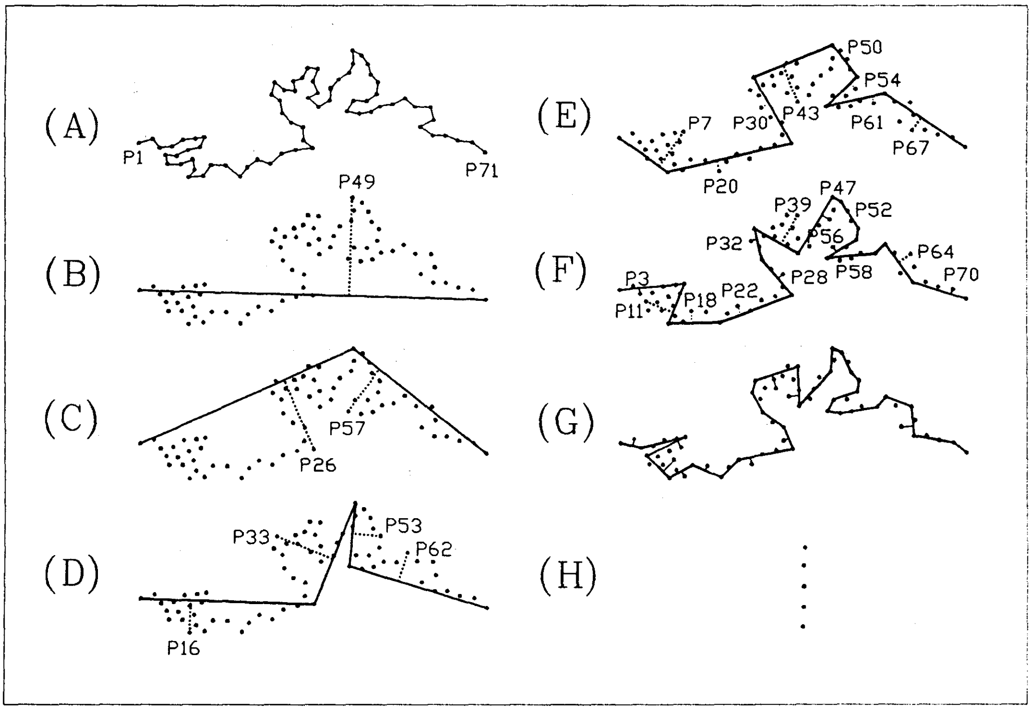

그림 4. 스트립트리(strip tree)를 응용한 단순화

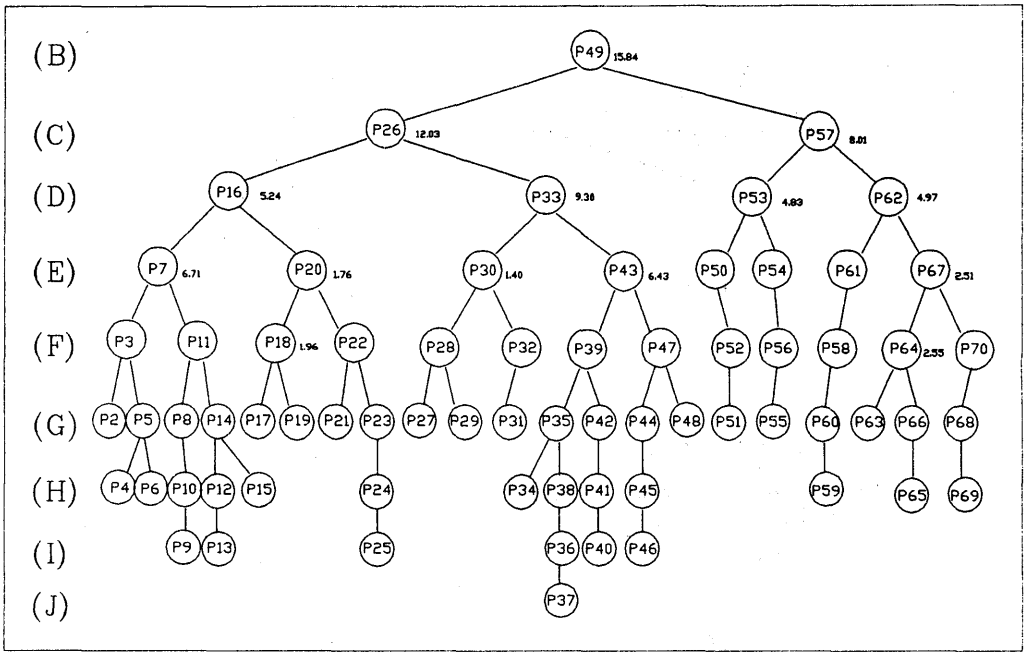

그림 5. 단순화 과정에 따른 계층적 자료구조

시작점(P1)과 끝점(P71)이 첨가되어 단순화가 완료된다.

2) Tree 구조에 의한 참조의 문제

Cromley가 제안한 '계층적 선형 사상의 단순화 방법'에서 미리 설정한 단순화 지표를 기준치로 이용해 계층적 자료구조에 따라 단순화를 진행시킬 때에는 한 가지 개념적 모순이 발견된다. 그리고 이것은 단순화 결과의 정확도에 영향을 미칠 수 있다.

계층적 단순화는 기준치와 계층적으로 저장된 각각의 node를 비교할 때 그 절차가 계층적 경로(hierachical path)를 따라 진행되어 어느 node가 기준치보다 미만일 경우 그보다 차하인 node들은 비교 대상에서 제외되어 그 만큼 계산의 효율성을 높인다. 이와같은 방식에 의한 단순화 방법은 기존의 방법론에 비해 개념적 정의가 명확하다는 장점을 갖고 있다.

한편, 계층적 선형 사상의 단순화 방법은 자료의 저장 형태가 계층성을 갖는다는 '기본적 전제'에서 출발하는 것이고, 그것은 각각의 node가 지니는 단순화 지표, 즉 수선의 길이가 자료 구조에 따라 체계적으로 정리되어 저장됨으로써 가능하다. 그러나 실제로 이러한 기본적 전제는 항상 보장되지 못한다. 다시 말해, 차하의 node가 지니는 값이 그보다 차상의 node가 갖는 값에 비해 더 클 수 있다. 이 경우 단순화 결과를 추출하는데 그 절차상 차상의 node가 기준치보다 작은 값을 가지고 있을 때 차하의 node는 비교 대상에서 제외된다. 그러나, Douglas-Peucker 알고리듬에서 수선의 길이가 갖는 의미는 선형 사상의 기하학적 특성을 대변하여 단순화 결과의 정확도를 좌우한다. 따라서 앞의 경우 차상의 node에 비해 차하의 node가 전체 선형 사상의 기하학적 특성을 더 반영할 수 있다. 실제로 그림 5에서 'P16-P7 node,' 'P20-P18 node,' 'P67-P64 node'간의 계층성이 어긋난 것을 볼 수 있다.

이와 같은 계층성의 어긋남이 만약 하위 계층에서만 비롯된다면 그 단순화 결과에 대한 기하학적 정확도에 심각한 영향을 미치지 않을 것이고 그것은 모든 단순화 방법에 정도의 차이는 있지만 존재하는 현상으로 판단할 수 있다. 그러나 이런 어긋남이 중상위 계층에서 발생하였

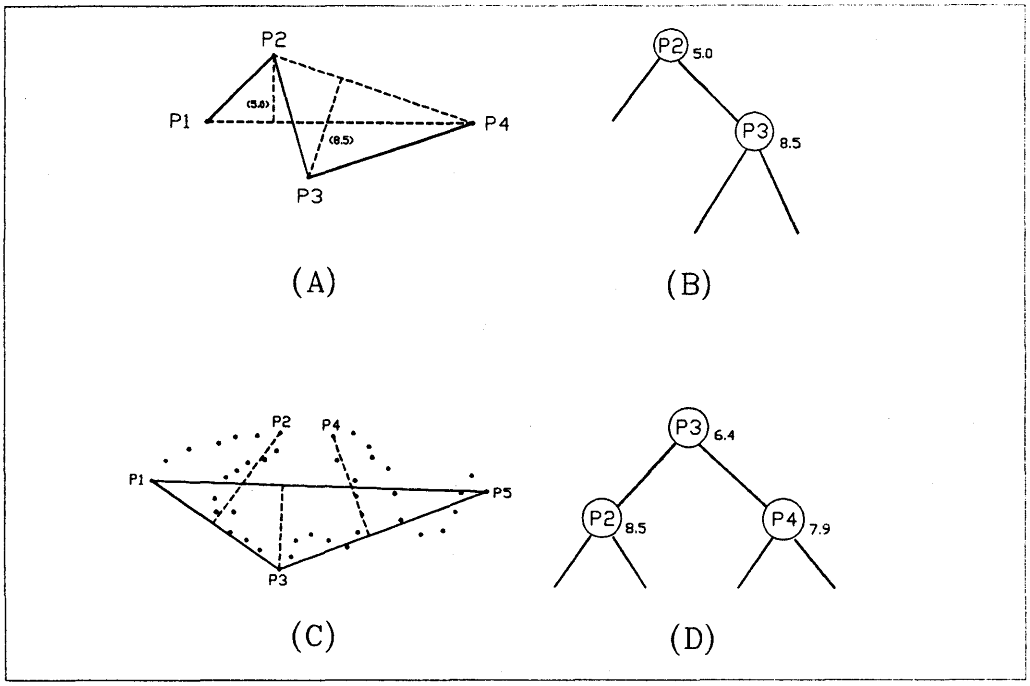

그림 6. 계층적 자료구조에서 발생하는 계층성의 어긋남

다면 기하학적 왜곡이 심각할 수 있어 자연히 그 결과에 대한 신뢰도가 떨어지기 마련이다. 그림 6의 (A)에서 단순한 선형 사상을 계층적 구조로 삽입시켰을 때, (B)에서 보는 바와 같이 그 계층성은 깨어진다. 따라서 만약 단순화 기준치를 5 이상으로 전제할 때 단순화 결과는 'P1-P2-P4'의 추출로 완료된다. 그림의 (C)와 (D)는 이러한 문제가 중상위 계층에서도 쉽게 발생할 수 있음을 보여준다.

기존의 연구는 대부분 단순화의 정확도나 효율성에 초점을 맞춰 진행되었고, 위와 같은 어긋남에 대해서는 논의가 없었다. 그렇다면 '계층적 단순화 방법'에서 계층상의 어긋남이 발생하는 원인은 무엇인가? 첫째, 전역적 단순화 방법으로 분류되는 Douglas-Peucker 알고리듬은 절차상 단순화가 선형 사상의 전역적 특성을 고려하는데서 출발하기 때문에 국지적 특성이 충분히 반영되지 못할 가능성이 내재되어 있다. 둘째, 이렇게 국지적 특성이 고려되지 않은 상태에서 계층적 자료구조에 단순화 지표를 삽입함으로써 자료구조의 계층성에 어긋남이 발생할 수 있다. 결과적으로 Douglas-Peucker 알고리듬과 계층적 자료구조의 장점을 이용하면서 최대한 계층적 어긋남을 극복하기 위해서는 선형 사상의 국지적 특성이 반영된 자료구조가 요구된다.

2. 국지적 특성을 고려한 자료 참조

1) 형태적 대표점 추출

본 연구에서는 단순한 수학적 계산을 이용하는 '국지적 단순화'나 '확대한 국지적 단순화'와 달리 선형 사상의 '형태적 대표점(critical point)'을 추출하는 방법으로 선형 사상의 국지적 특성을 이끌어 내었다. 우선 선형 사상을 구성하고 있는 점들을 연결할 때 가장 외곽에 위치하는 점, 이른바 '볼록다각형'을 구성하는 점을 찾아내는 방법을 개발하고 이를 기초로 형태적 대표점을 추출하였다.

모든 볼록다각형을 구성하는 점들에는 공통적으로 X, Y 좌표의 최대값과 최소값을 갖는 점들이 항상 존재하며, 시계 반대 방향으로 '최대 X,' '최대 Y,' '최소 X,' '최소 Y,' 순서로

연결되어 있다. 본 연구에서는 이와같은 성질을 이용하여 볼록다각형을 구성하고 있는 점들을 탐색하였다. 즉, 위의 4개 점들에 대해서 차례로 두 점을 선택하여 서로 연결한 다음, 그 두 점 사이에 존재하는 점들을 하나씩 그 선분과 비교하여 오른쪽에 위치하고 있으면 그 점을 볼록다각형을 구성하는 점으로 인식하는 방법이다. 구체적인 절차는 그림 7을 통해 기술하였다.

(A) ① 49개 점(P1-P49)으로 구성된 선형 사상에 대해 행·열의 크기가 같은 matrix를 씌워 각각의 점이 matrix의 어느 위치-셀(cell)-에 존재하는가를 확인한다. 여기서 행·열의 크기는 자료의 수에 따라 적절하게 조절되며, matrix의 범위는 점들의 X·Y 좌표중에 최대·최소인 점, 즉 P28, P11, P1, P43 을 기준으로 한다. 그리고 X축 방향으로 열(column)의 번호를 또 Y축 방향으로 행(row)의 번호를 부여하고 이를 참조해 matrix에서의 위치([열][행])를 알 수 있다. 예를 들어, matrix의 左下에 존재하는 셀을 기준으로 matrix[0][0], 그 위의 셀은 matrix[0][1] 등으로 위치를 참조하며 따라서 P36의 경우는 matrix [2][0]에 위치한다.

② 선형 사상을 구성하는 점들에 대해서 '최대 X,' '최대 Y,' '최소 X,' '최소 Y'의 점들을 구하여(P28, P11, P1, P43), 앞서 기술한 방법으로 시계 반대 방향으로 탐색을 진행시켜 나간다. 우선 P28과 P11을 잇는 선분이 통과하는 셀들에 포함되어 있는 점들을 대상으로 그 선분 오른쪽에 위치한 점들을 찾는다.

③ 위에서 찾은 점들 중에 선분에서 가장 멀리 떨어져 있는 점, P26을 중간점으로 ②의 과정을 반복한다. 즉 P28과 P26 그리고 P26과 P11를 연결한 선분들을 기준으로 이로부터 오른쪽에 가장 멀리 위치한 점들을 찾아나간다. 이렇게 재귀적(recursive) 처리를 통해서 구한 P1-P10-P11-P19-P26-P27-P28-P36-P42-P43-P49을 연결하면 선형 사상을 구성하고 있는 모든 점들을 내부에 포함하는 볼록다각형이 이루어진다.

(B) (C) 볼록다각형을 구성하고 있는 점들 중에 P10-P11, P26-P27-P28, P42-P43은 선형 사상을 구성하는 점들로서 서로 이웃하는 연속적

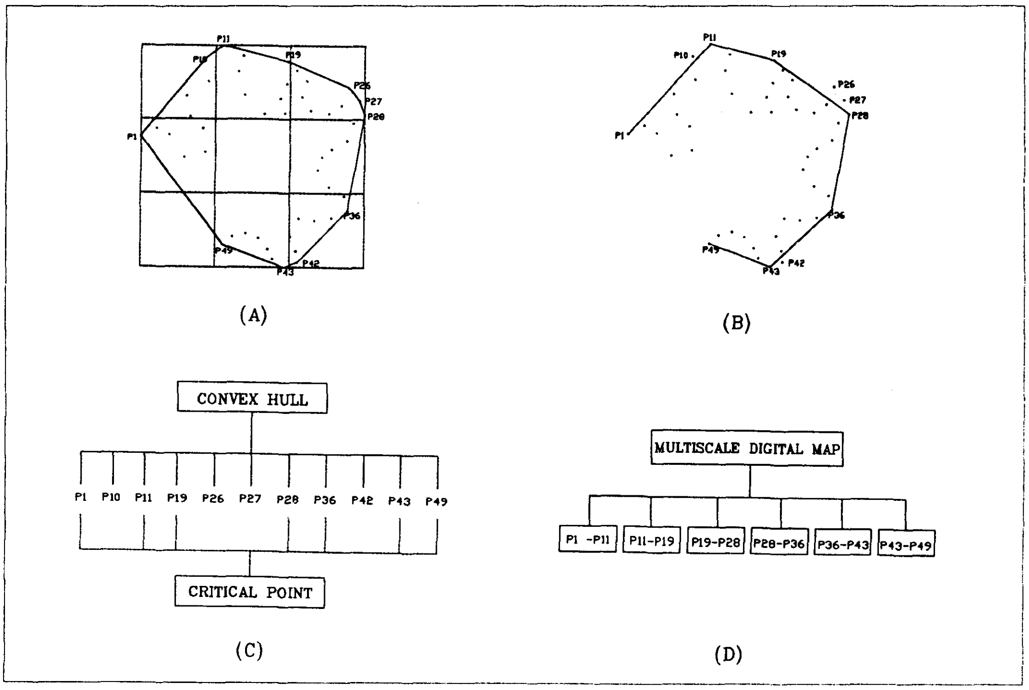

그림 7. 선형 사상의 형태적 대표점 추출

인 성격을 갖고 있다.

(D) 이런 연속적 점들 간에는 그 변위의 차이가 크지 않기 때문에, 선행하는 점들을 생략하고 마지막 점들(P11, P28, P43)만으로도 선형 사상의 국지적 특성을 반영하는 '형태적 특성을 갖는 대표점(critical point)'을 충분히 파악할 수 있고, 이를 기초로 조직되는 계층적 자료구조는 그 복잡성이 현저하게 줄어든다. 또한 선행 점을 생략함으로써 발생할 수 있는 계층상의 어긋남의 가능성은 최하위 계층에서 일어나기 때문에 단순화 결과에 크게 영향을 주지 않는다.

2) 다축척 수치 지도의 구축

선형 사상의 형태적 대표점을 통해 구축되는 자료구조는 전체적인 선형 사상에 대해 구축하는 계층적 자료구조에서 발생할 수 있는 계층상의 어긋남-특히, 중상위 계층-을 최대한 억제할 수 있다. 그림 7의 (D)는 원래 49개 점으로 구성된 선형 사상을 계층적으로 조직하는데 최소한 유지해야 할 점으로 7개 점을 이용하고 있다. 그림 8은 앞서 기술했던 Cromley 방법과 비교하여 국지 인자가 중간 단계에 삽입된 결과인데 Cromley의 '단순한 계층적 단순화 방법'(그림 5)에서 발생했던 계층성의 어긋남이 제거되었다. 다만, 중상위 계층의 어긋남이 사라진 반면에 하위에서 어긋남(P44-P45)이 하나 발생하였다.

Ⅳ. 다축척 수치 지도의 평가

1. 다축척 수치 지도의 평가

Cromley(1991)의 '계층적 선형 사상의 단순화 방법'으로부터 계층성의 어긋남, 특히 중상위 계층의 어긋남을 제거하여 본 연구에서 제안한 '다축척 수치지도 루틴(Multiscale Digital Map Routine, 이하 MDMR이라 칭함)'은 그 성격상 지도 사상의 단순화가 당연히 요구된다. 한편, MDMR은 '전역적 단순화 방법'에서 국지적 특성이 무시될 가능성이 있기 때문에 이를 보완하기 위해서 변형된 단순화 방법을 채택하였다. 따라서, 변형된 단순화 방법의 효용성을

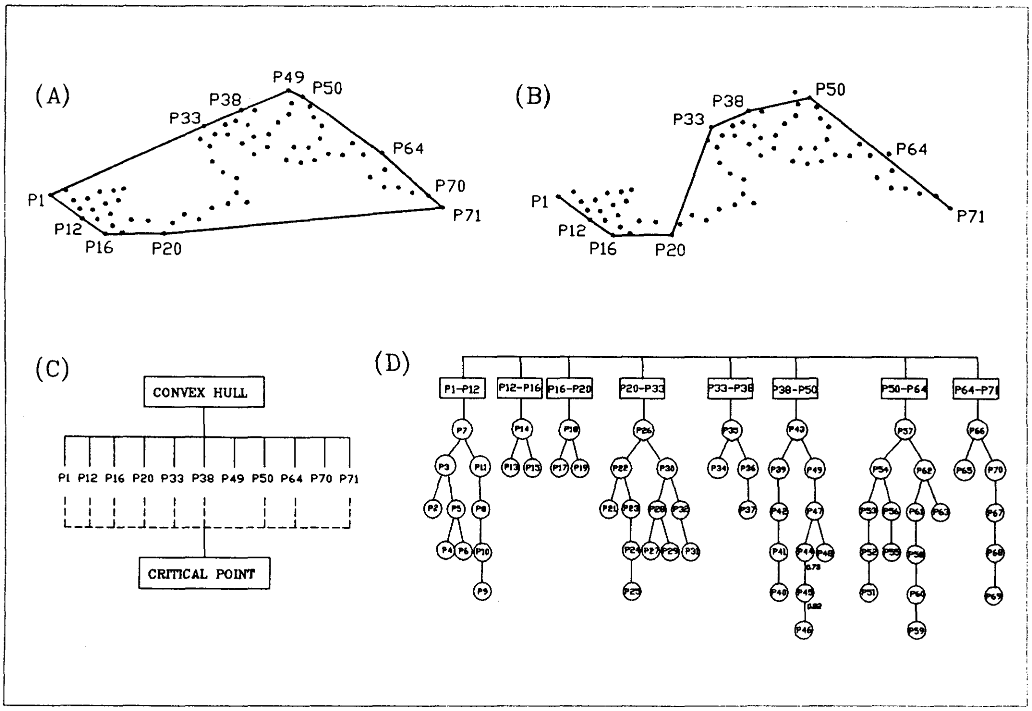

그림 8. 국지적 특성을 고려한 자료구조

표 1. 선 1의 정량적 평가

	원 자 료		단순화 후		변위 크기	처리 시간
	점	길이	점	길이		(단위:초)
MDMR	71	141.723	24	129.313	52.4214	0.8791
Cromley 방법	71	141.723	23	128.166	63.8736	0.7692

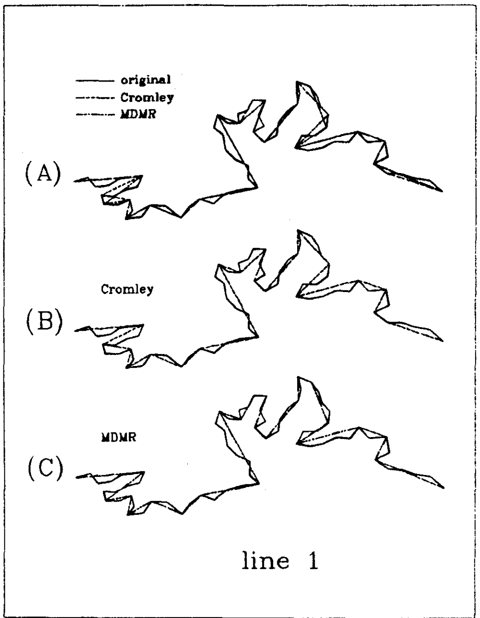

그림 9. 선 1에 대한 단순화 결과

검증하기 위해서 단순화 결과의 위치적 정확도와 실제 처리 시간을 'Douglas-Peucker 알고리듬'을 이용한 Cromley 방법과 비교하였다.

우선, 앞서 Cromley 방법을 설명하는데 이용한 자료(선 1)에 대해 Cromley 방법과 MDMR로 각각 단순화를 실시하고 이를 비교하였다. 본래의 선 사상과 단순화된 결과를 시각적으로 비교하여 전반적인 단순화의 특성을 확인하고 이를 객관적으로 뒷바침하기 위해 선 길이의 변화와 변위(displacement)의 크기 그리고 처리 시간을 측정하였다(표 1).

표에서 보는 바와 같이 단순화된 점의 수에 1 개 차이가 있지만, 단순화 결과의 위치적 정확도를 잘 반영하는 변위의 크기 면에서 변형된 단순화 방법을 채택한 MDMR의 결과가 크게 향상되었음을 볼 수 있다. 그리고 처리 시간 면에서 MDMR은 형태적 대표점을 찾는 루틴이 첨가되었음에도 절대적 시간이 Cromley 방법과 비교해 크게 연장되지 않았다.

이와 같이 MDMR을 이용할 때 위치적 정확도가 향상되는 부분은 그림을 통해서 잘 설명된다(그림 9). 구체적으로, 두 가지 방법에 서 차이가 발생하는 부분은 Cromley의 '단순한 계층적 단순화 방법'에서 발생한 계층적 어긋남이 생긴 부분, 즉 그림 5에서 보는 바와 같이 P16, P20, P67 임을 확인할 수 있다. 이에 비해 변형된 단순화 방법에서는 형태적 대표점들이 유지되어 이와같은 어긋남을 제거하였고 궁극적으로 위치적 정확도를 향상시켰다.

한편, 지금까지 단순화에 대한 대부분 연구는 등고선과 같이 자연 속에 존재하는 사상들에 기초하여 지형적 특성을 고려하여 이루어졌다. 구체적으로, 보통 선형 사상을 '굴곡도(sinuosity)'와 '곧은 정도(straightness)' 그리고 각의 '예리한 정도(sharpness)'나 '완만한 정도(gentlyness)' 등을 기준으로 연구 대상을 선택하였다(Breward, 1972, 82-86). 본 연구에서는 이와같은 기준에 폐곡선 형태를 첨가하여 선형 사상의 유형을 분류하고(표 2, 그림 10), 이들을 대상으로 Cromley 방법과 비교하여 MDMR의 정확도와 효율성을 앞서 수행한 방법으로 평가하였다.

한편, 상대적으로 대축척인 자료원으로부터 원하는 소축척의 자료를 추출하기 위해서 MDMR이나 Cromley 방법 모두 적절한 단순화 지표를 요구하는데 이를 구하기 위해 Töpfer의 법칙을 응용하였다. 즉, 대축척 지도에서 나타나는 사상의 수와 상대적으로 소축척인 지도에서

표 2. 검증 선형 사상의 분류

	굴곡진 선	곧은 선	폐곡선
완만한 선	선 2	선 4	선 6
예리한 선	선 3	선 5	선 7

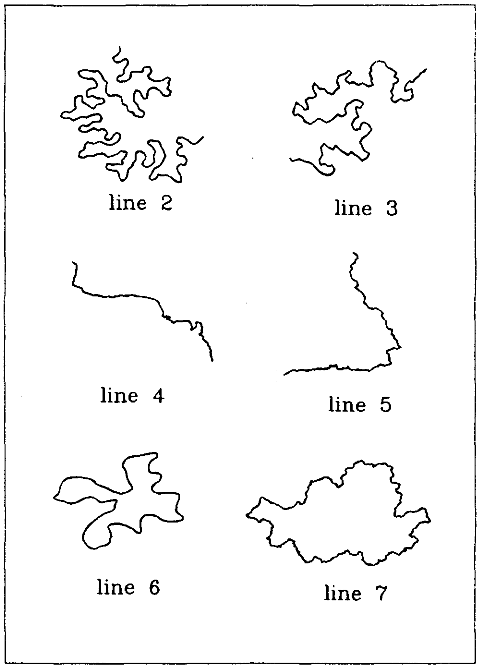

그림 10. 선의 유형에 따른 자료

나타나는 사상의 수에는 일반적으로 다음과 같은 관계가 성립함을 밝힌 것이다(Monmonier, 1982, 171-172).

$$N_f = N_a \times \sqrt{M_a / M_f}$$

N_a : 대축척(M_a)에서 사상의 수
N_f : 소축척(M_f)에서 사상의 수

본 연구에서는 이와같은 법칙을 응용하여 대축척에서 선형 사상을 구성하고 있는 점의 수를 참조하여 이보다 소축척으로 그 선사상을 표현하고자 할 때 유지해야 하는 점의 수를 구하였다. 그 다음 이 기준에 근사하도록 MDMR과 Cromley 방법에서 지표를 조절하여 소축척의 자료를 추출하였다. 그리고 비교하기 위한 축척은 원자료의 성격과 축척을 고려하여 다르게 결정하였다.

선형 사상의 유형을 6 가지로 구분하여 단순화의 정확도를 평가한 결과, 대체적으로 MDMR로부터 추출한 자료가 Cromley 방법을 이용한 자료에 비해 편위(displacement)가 적게 나타났고, 그 처리 시간에 있어서는 양자 사이에 별다른 차이가 없었다.

형태적인 면에서 전반적으로 굴곡(sinuosity)이 있는 선 2와 선 3－원래 축척이 1:5,000－에 대해서 Cromley 방법과 MDMR로 1:25,000 과 1:50,000 에 해당하는 자료를 추출했을 때 변위의 크기를 비교해보면, MDMR이 Cromley 방법에 비해 각각 1.2%, 1.9%, 10.5%, 6.7% 정확도가 향상되었다. 또한, 앞서 지적했듯이 MDMR에는 형태적 대표점을 찾는 루틴이 첨가되었음에도 선 2에서는 Cromley 방법보다 MDMR이 더 효율적이었다. 그것은 Cromley 방법으로 단순화를 수행하려 할 때 계층 구조가 복잡하여 이를 구성하는데 더 많은 계산이 요구되고 또한 계층의 깊이(depth of tree)가 깊어져 탐색하기 위한 시간이 그 만큼 지연되기 때문이다.

선형 사상이 전체적으로 곧은 특성(straightness)을 갖고 있는 선 4와 선 5는 1:25,000 지형도에 나타난 도로 사상을 입력한 것이다. 원자료의 축척으로부터 1:100,000과 1:200,000에 해당하는 자료를 두 가지 방법으로 추출하였을 때, MDMR은 Cromley 방법에 비해 변위의 크기면에서 선 4의 1:100,000 자료에서 4.2% 향상되었고 나머지 세 경우에서는 각각 2.7%, 1.2%, 1.9% 씩 정확도가 낮아졌다.

그리고 폐곡선에 대한 평가를 위해, 완만하지만 굴곡이 크게 형성된 선 6과 각이 예리한반면 굴곡은 크지 않은 선 7을 각기 1:5,000의 토양도와 행정구역도에서 선택하여, 1:50,000과 1:100,000의 자료로 추출하였다. 선 6의 경우 MDMR이 Cromley 방법에 비해 위치적 정확도가 10.6% 와 7.3% 향상되었음을 알 수 있다. 또, 선 7의 경우 1:50,000 자료에서 0.9% 감소한 반면 1:100,000 자료에서는 2.7% 향상되었다.

위와 같은 비교를 통해서 전체적으로 선형 사상에 굴곡이 있는 경우에 MDMR로부터 추출한 자료는 Cromley 방법에 비해 단순화 후에 위치적 정확도가 향상됨을 확인하였다. 그것은 Cromley의 계층적 선형 사상의 단순화 방법에서 계층적 어긋남이 단순화 결과의 위치적 정확도에 영향을 미치고 있음을 암시한다. 반면에, 계층적 어긋남 특히 중상위 계층에서 발생하는

어긋남을 제거한 MDMR은 실제적으로 그 위치적 정확도를 향상시켰다. 한편 처리 시간을 비교한 결과 MDMR에 형태적 대표점을 찾는 루틴이 첨가되었음에도 대체로 큰 차이를 발견할 수 없었고, Cromley의 계층적 단순화에서 계층의 구성이 복잡하고 계층의 깊이가 깊은 경우에 MDMR이 오히려 신속하였다.

2. 다축척 수치 지도의 실제적 이용

'다축척 수치 지도 루틴'의 효용성을 평가하는데 국내에서는 아직 표준화된 수치 지도가 제작되지 않았기 때문에, 대신 수치 지도와 성격이 유사한 항공 사진을 해석입체도화기 (analytical stereoplotter)로 도화한 자료를 이용하였다. 해석입체도화기로 세부 도화한 자료는 직접 수치 형태로 저장이 가능하고, 도엽 방식의 자료를 수치화한 자료에 비해 오차가 발생할 가능성이 대폭 줄어 그 만큼 자료의 정확도가 높다.

본 연구에서는 해석입체도화기를 이용하여 사진 축척이 1:20,000인 항공 사진을 각기 1:5,000 , 1:10,000 , 1:20,000 으로 도화하여 이를 수치 형태로 저장하였다. 이로부터 1:5,000 의 대축척 자료원을 다축척 수치 지도 루틴으로 처리하여 1:10,000 과 1:20,000 축척에 해당하는 자료를 추출하여 실제 도화된 자료와 정확도를 비교함으로써 다축척 수치 지도의 실제적 유용성을 확인하였다. 한편, 검증에 사용한 1:10,000 이나 1:20,000 자료를 도화하는데는 1시간 남짓 소요되었고, 다축척 수치 지도 루틴에서 취득하는데는 1분 이내의 시간이 걸렸다.

도화에는 ASP 2000 analytical stereoplotter를 이용하였고, 연구에 이용된 항공 사진은 1988년 10월에 촬영된 1:20,000 흑백 사진으로, 사진번호는 안동지구 24-57, 24-58 이다. 그리고 한 쌍의 중첩되는 양화 필름에서 고도가 250m 와 350m에 해당하는 등고선 2 개를 선택하고 12 개의 지상 기준점을 참조하여 축척 1:5,000 , 1:10,000 , 1:20,000 등 세 가지로 도화하였다(그림 11). 도화 영역은 TM 좌표계로 190 – 193 (동-서 방향), 322 – 324 (남-북 방향)에 해당하는 지역이다.

도화한 1:5,000 자료에서 1:10,000 과 1:20,000 자료를 얻기 위해서 사용한 지표는 '1'과 '2'이었다. 여기에서 1:10,000 으로 추출한 자료는 Töpfer 법칙을 충실히 적용하여 그 자료수를 맞추었지만, 1:20,000 자료는 도화한 자료와 그 수를 유사하게 맞추었다. 이렇게 추출된 자료와

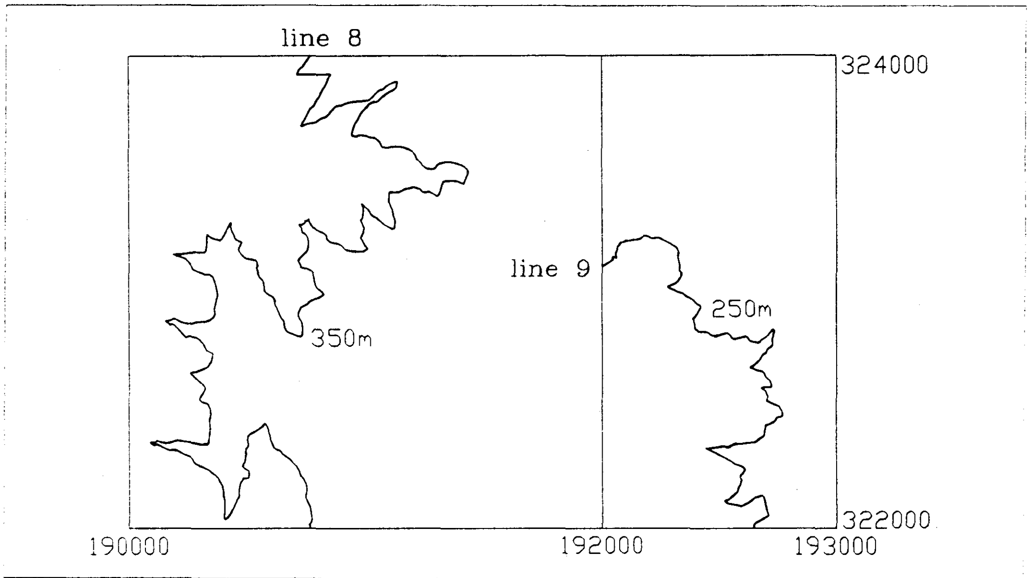

그림 11. 해석도화기에 의해 수치화된 검증 자료(1:5,000)

표 3. 선 8의 정량적 평가

	1:5,000 자료원	1:10,000		1:20,000	
		도화	MDMR	도화	MDMR
점의 수	621	353	435	275	296
선의 길이 (m)	8005.1	7831.7	7995.7	7803.4	7963.2
변위 크기 (m^2)		21651.4	1009.8	24400.3	3201.4

표 4. 선 9의 정량적 평가

	1:5,000 자료원	1:10,000		1:20,000	
		도화	MDMR	도화	MDMR
점의 수	289	159	194	123	127
선의 길이 (m)	2942.5	2818.1	2936.5	2856.0	2920.6
변위 크기 (m^2)		7476.4	407.9	9557.0	1332.8

도화한 자료가 각각 원자료와 어느 정도 편차를 보이는가를 살펴보기 위해 선의 길이와 변위에 따른 다각형의 면적을 측정하였다(표 3, 4).

표에서 1:10,000으로 도화한 자료의 수가 Töpfer 법칙에 따른 수보다 상대적으로 적게 나타나는 것을 감안하더라도 다축척 수치 지도로부터 추출된 자료에 비해 위치적 정확도가 많이 떨어짐을 알 수 있다. 더욱이 1:20,000 자료들에서는 자료수가 비슷함에도 불구하고 선 길이나 편위 크기를 살펴볼 때 다축척 수치 지도에서 취득한 자료가 정확도가 우수함을 확인할 수 있다.

Ⅴ. 요약 및 결론

본 연구에서는 지도의 선형 사상(line feature)에 대해 상대적으로 대축척인 자료로부터 그보다 소축척 자료를 추출하는 '다축척 수치 지도 루틴(Multiscale Digital Map Routine, MDMR)'을 개발하였다. 다축척 수치 지도 루틴에서는 축척의 변환에 따라 요구되는 선형 사상의 단순화를 해결하기 위해서, 선형 사상의 국지적 특성을 나타내는 형태적 대표점(critical point)을 찾는 루틴과 단순화 결과의 공간적 정확도가 높고 명료한 단순화 지표를 갖고 있는 Douglas-Peucker 알고리듬을 결합한 방법을 이용하였다. 그리고 대축척의 자료가 갖는 공간적 해상력(levels of detail)에 따라 변형된 이진트리에 계층적으로 자료를 저장하여 자료의 중복을 제거하고 동시에 대축척 공간 자료에서 원하는 축척의 자료를 추출하였다.

다축척 수치 지도 루틴의 효용성을 평가하기 위해 기존의 대표적 단순화 방법인 Douglas-Peucker 알고리듬을 이용한 Cromley 방법과 MDMR에 대해서 각각 축척 변환 후에 선의 길이나 변위(displacement)의 크기, 그리고 실제 처리 시간을 측정하여 비교하였다. 그리고 다축척 수치 지도의 실제적 유용성을 평가하기 위해 수치 지도와 성격이 유사한 자료, 즉 항공 사진을 해석입체도화기(analytical stereoplotter)를 통해 수치적으로 도화한 자료와 MDMR로부터 추출된 자료를 위와 같은 방법으로 비교하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

첫째, Cromley는 선형 사상을 단순화하는데 Douglas-Peucker 알고리듬을 계층적 자료구조로 구현하여 단순화 과정을 개념적으로 명확히 하고 효율성을 향상시켰다. 그러나 본 연구에서는 그의 방법에서 핵심적이라 할 수 있는 '단순화 지표의 계층성'이 항상 보장되지 못한다는 점을 발견하였다. 그것은 Douglas-Peucker 알고리듬이 성격상 선형 사상의 전역적 특성에 따라 단순화를 전개하기 때문에 국지적 특성이 무

시될 가능성이 있는데 이를 고려하지 않고 단순화 과정을 계층적으로 구조화한 데서 비롯된 것이다.

본 연구에서는 계층적 어긋남을 극복하기 위해 선형 사상의 국지적 특성을 고려한 계층적 자료구조를 설계하였다. 즉, 선형 사상의 국지적 특성을 파악하기 위해 선형 사상을 구성하고 있는 점들로부터 '형태적 대표점(critical points)'을 찾아내어 이를 기초로 계층적 자료구조를 완성시켰다.

둘째, MDMR에서 수행한 단순화 결과는 Cromley 방법에 비하여 대체적으로 공간적 정확도가 향상되었다. 특히, 선형 사상의 유형에 따른 검증을 통해서 MDMR은 특히 굴곡(sinuosity)이 많은 자료에 대해 단순화 후의 공간적 정확도를 크게 향상시킨다는 사실을 밝혔다. 이와 같은 맥락에서 선형 사상의 굴곡의 정도가 커짐에 따라 Cromley 방법에서 계층적 어긋남이 발생할 가능성이 높고 이것은 단순화 결과의 위치적 정확도에 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 또한 MDMR은 처리 시간에 있어서도 Cromley 방법에 비해 크게 뒤지지 않았고, 오히려 계층적 구조가 복잡한 경우에 있어서는 MDMR이 더욱 신속하게 단순화를 수행하여 효율성을 높였다.

세째, 향후 일반화될 수치 지도와 비슷한 성격을 갖는 도화 자료(1:5,000)로부터 MDMR을 이용하여 취득한 자료들(1:10,000과 1:20,000)은 항공사진으로부터 해당 축척으로 직접 도화한 자료들보다 공간적 정확도가 확실히 높다. 따라서, 대축척의 자료를 수치 지도 데이터베이스로 구축하여 MDMR로부터 공간적 정확도가 높은 소축척 자료를 신속하게 취득함으로써, 축척에 따라 자료를 입력해야 하는 번거로움과 이로 인해 발생하는 비용과 시간의 낭비, 그리고 자료의 중복을 제거할 수 있는 가능성을 제시하였다.

< 參考文獻 >

Ballard, D. H., 1981, "Strip trees: a hierachical representation for curves," *Communications of the ACM* 24(5), 310-322.

Breward, R. W., 1972, "A mathematical approach to the storage of digitised contours," *The Cartographic Journal* 9, 82-86.

Buttenfield, B., 1985, "Treatment of the cartographic line," *Cartographica* 22(2), 1-26.

________, 1987, "Automating the identification of cartographic lines," *The American Cartographer* 14(1), 7-20.

Carstensen, L. W., 1989, "A fractal analysis of cartographic generalization," *The American Cartographer* 16(3), 181-189.

Chrisman, N. R., 1990, "Deficiencies of sheets and tiles: building sheetless databases," *International Journal of Geographical Information Systems* 4(2), 157-167.

Cromley, R. C., 1991, "Hierachical methods of line simplification," *Cartography and Geographic Information Systems* 18(2), 125-131.

Cromley, R. C. and G. M. Campbell, 1991, "Noninferior bandwidth line simplification: algorithm and structural analysis," *Geographical Analysis* 23(1), 25-38.

Douglas, D. H. and T. K. Peucker, 1973, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature," *The Canadian Cartographer* 10(2), 112-122.

Egenhofer, M. J. and J. R. Herring, 1991, "High-level spatial data structures for GIS," in *Geographic Information Systems : Principles and Applications*, Longman, 227-237.

Goodchild, M. F. and D. M. Mark, 1987, "The fractal nature of geographic phenomena," *Annals of the Association of American Geographers* 77(2), 265-278.

Guptill, S. C., 1989, "Speculation on seamless, scaleless cartographic dataBase," *Autocarto* 9, 436-443.

Jasinski, M. J., 1990, "The comparison of complexity measures for cartographic lines," *NCGIA Technical Paper 90-1.*

Jenks, G. F., 1989, "Geographic logic in line generalization," *Cartographica* 26(1), 27-42.

Mcmaster, R. B., 1987a, "Automated line generalization," *Cartographica* 24(2), 74-111.

________, 1987b, "The geometric properties of numerical generalization," *Geographical Analysis* 19(4), 330-346.

________, 1989, "The integration of simplification and smoothing algorithms in line generalization," *Cartographica* 26(1), 101-121.

Monmonier, M., 1982, *Computer-Assisted Cartography: Principles and Prospects*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Robinson, A. H., R. D., Sale, J. L., Morrison, and P.C., Muehrcke, 1984, *Elements of Cartography*, (5th ed.), John Wiley & Sons, New York.

White, E. R., 1985, "Assessment of line generalization algorithms using characteristic points," *The American Cartographer* 12(1), 17-27.

Cartographic Line Feature Simplification for Multiscale Digital Map

Chulsue Hwang

Graduate Student, Seoul National University

Summary

Data incorporated into GIS are derived from many different sources, both analogue and digital. The primary source is still undoubtedly the hardcopy map. In developing geographical databases from maps, however, some problems are encountered. First, it is difficult to obtain the map data at appropriate scale to the analysis purpose. Second, in case that the data of many details level are needed according to the purposes, spatial data for the same area have to be stored at a number of distinct scales. It generates the redundancy of spatial data.

In this context, this study investigated the development of 'Multiscale Digital Map Routine(MDMR)' which extracted from relatively large scale data to smaller ones the users wanted to get. In order to simplify cartographic line features in accordance with scale reduction, MDMR used 'critical points search routine' created here, which idicated the local properties of line features, and Douglas-Peucker's algorithm.

The major findings were summed up into the followings.

First, it was found out that the hierachy of simplification index, which was the core in Cromley's method, was not always guranteed. Douglas-Peucker's algorithm, Cromley used as a simplification prodedure, simplified line features with global point of view. It was validated that the local property of line features in such global approach was apt to be neglected and the construction of hierachy with no thought of locality might entangle the hierachy.

Second, MDMR designed new method, namely 'critical points search routine' and then constructed the hierachical data structure based on these critical points. In consequence,

MDMR corrected most entanglements, particularly entanglements of higher rank in hierachical structure.

Third, it was confirmed that MDMR usually improved the spatial accuracy as compared with Cromley's method. Through the analysis of spatial accuracy according to line types, MDMR was so exellent in case of line features having the great extent of sinuosity.

Fourth, MDMR, which had more complicated routines than Cromley's method, didn't extend the CPU processing time seriously. On the contrary, MDMR processed more quickly than his when the hierachical sturucture was complex or the depth of hierachy was deep.

Fifth, Compared with areal photo data which were converted into digital forms using analytical stereoplotter, MDMR's spatial accuracy was so high. This suggested the possibility of practical use for MDMR.

Keywords: multiscale digital map, line simplification, hierachical data structure, critical points, spatial accuracy.