

공간통계를 이용한 공간정보의 손실추정에 관한 연구

A Study on the Estimation of Spatial Information Loss using Spatial Statistics

성동권¹⁾ · 최연웅²⁾ · 고재웅³⁾ · 조기성⁴⁾

Sung, Dong Gwon · Choi, Yun Woong · Ko, Jae Woong · Cho, Gi-Sung

1. 서론

80년대 초반 국내에 도입되기 시작한 GIS는 96년 제1차 NGIS사업과 2001년 제2차 NGIS사업과 같은 국가적인 규모의 사업추진 등을 기반으로 하여 사회의 다양한 분야에 GIS가 도입되었다. GIS의 관점에서 국외 및 국내의 지난 20여 년 간은 컴퓨터기술 및 공간자료 취득기술의 발전과 더불어 GIS의 급속한 양적인 성장을 가져왔으나 공간 자료의 오차 및 정확도 등을 포함하는 불확실성을 다루는 질적인 면에 있어서는 GIS의 연구 및 투자가 상대적으로 경시되어 왔다. 이러한 결과 공간자료의 불확실성의 처리를 위한 방법이 정립되지 못하였으며, 결과적으로 불확실성을 다루기 위한 방법의 부재로 인하여 사용자들이 습관적으로 공간자료의 불확실성을 무시하는 결과를 초래하여 GIS 결과의 신뢰성에 심각한 악영향을 미치고 있다.

공간자료에서 오차나 불확실성의 존재보다도 이를 처리하기 위한 방법이 존재하지 않았기 때문에 사용자들이 습관적으로 공간자료의 불확실성을 무시하는 것이 더 큰 문제라 할 수 있다. 현재 불확실성의 인식이 점차로 일반화되고 있지만, 처리기술은 GIS와 원격탐사 등의 기술수준과 비교하여 많이 뒤떨어져 있다. 그러므로 GIS의 양적인 발전에 맞추어 질적인 성장을 이루기 위해서는 공간자료에 본질적으로 내재되어 있는 불확실성의 해결에 대한 많은 연구가 필요하다.

본 연구에서는 공간자료 중에서 측량분야의 지형분석과 수자원 및 환경 분야의 분포형모형에서 해상도에 대한 특별한 기준이 없이 격자의 크기가 변환되어 사용되고 있는 격자자료를 대상으로 격자 크기를 변환하는 과정에서 필연적으로 발생하는 정보손실의

1) 전북대학교 공과대학 토목공학과 박사수료

2) 전북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

3) 송원대학 토목과 부교수

4) 전북대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 부교수

정도를 공간통계를 이용하여 정량화하여 공간정보의 손실에 따른 불확실성을 정량화하는 방법을 제시하고자 하였다. 또한, 격자자료의 클래스의 수와 리샘플링에 따른 공간정보 손실 정도와의 관계를 해석하기 위해서 DEM, 토지이용자료, 토양자료, 향, 경사, 유향 및 LS자료를 이용하여 격자형 자료의 격자크기에 대한 정보손실의 정도를 해석하였다. 궁극적으로는 격자형태의 공간자료의 사용과정에서 적정격자크기의 선정을 위한 척도를 제시하고자 하는데 본 연구의 궁극적인 목적이 있다.

2. 공간자료의 불확실성의 개념적인 모형

GIS에서 다루어지는 지형, 환경, 자원 등에 관련된 많은 양의 공간정보에는 많은 형태의 불확실성이 존재한다. 이러한 불확실성을 무시한 GIS의 분석 결과는 특정 현상에 대한 예측 및 의사결정에 영향을 전혀 주지 않을 수도 있지만, GIS의 사용에 치명적인 오류를 야기 할 수 있으며, 또한 결과의 신뢰성을 저하시키는 주된 원인이 된다. 따라서 모든 GIS자료에서 오차와 불확실성의 존재가 인식되어야 하며 이러한 인식의 기본은 다양한 형태의 불확실성에 대한 정확한 개념화와 이들의 성질을 인식함에 있다.

불확실성에 관련하여 가장 중요한 문제는 검토될 객체의 종류와 개개의 객체를 정의하는 문제이다. 이렇게 정의된 객체는 명확하게 또는 불명확하게 정의되는가에 따라서 불확실성은 그림 2.1과 같이 정의되며, 다음과 같은 특성을 갖는다.

첫째, 객체의 종류와 개개의 객체가 명확하게 정의된다면 불확실성은 오차에 의한 것이고 확률적인 성질을 가진다.

둘째, 객체의 종류와 개개의 객체가 불명확하게 정의된다면 애매성과 모호성과 같은 불확실성의 추가적인 형태가 나타난다.

불확실성이 객체의 종류와 개개의 객체가 불명확하게 정의된 것으로부터 기인했다면, 전체에서 특정부분과 종류의 정의는 모호성의 문제이고 이러한 문제는 일반적으로 퍼지집합 이론으로 처리되어 왔다. 또한, 불확실성은 다른 분류체계에서 기인하는 애매성에서 발생할 수 있다. 애매성은 두 가지의 형태를 가진다. 첫째는 한 객체가 분명하게 정의되지만 다양한 분류나 현상에서 두 개 또는 그 이상의 분류에 속하는 불일치의 문제이고, 둘째는 객체를 모든 종류의 클래스에 할당하는 과정에서 해석되지 못한다면 이러한 문제는 비한정성의 문제이다.

공간자료기반에서는 이러한 문제 중에서 단지 퍼지집합 이론으로 표현되는 애매성과 확률이론으로 표현되는 오차에 의한 불확실성만이 다루어 졌으며 본 연구의 주된 관심 또한 확률이론에 의해 처리 될 수 있는 명확히 정의된 객체에 초점이 맞추어져 있다.

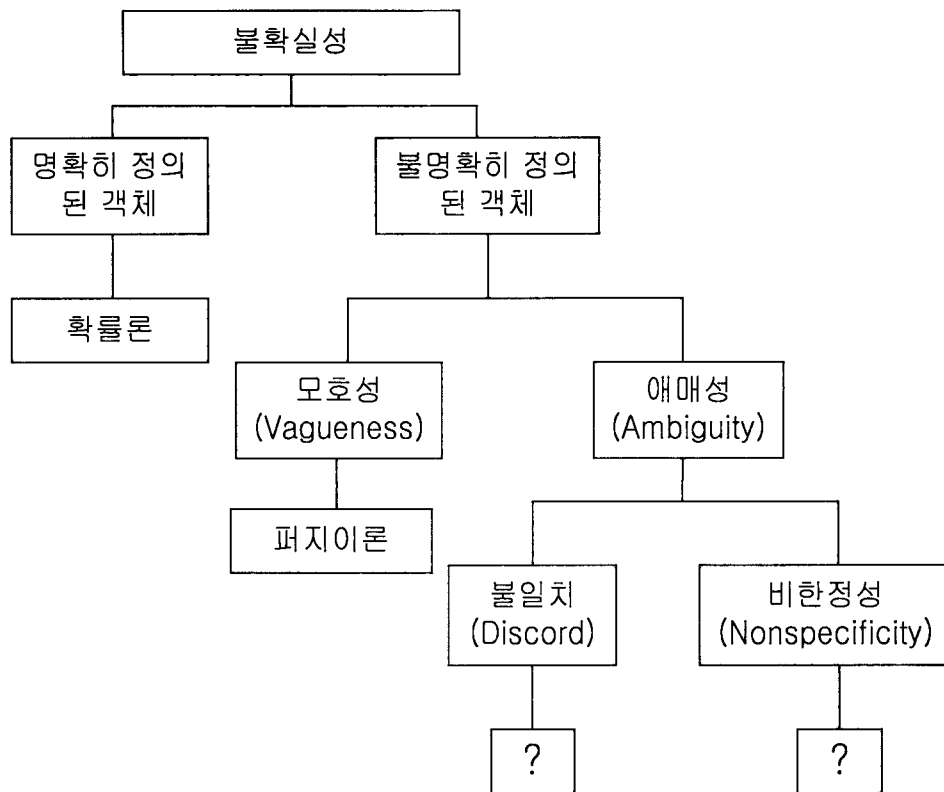


그림 2.1 공간자료에서 불확실성의 개념적 모형

2.1 객체의 정의

공간정보에서 불확실성의 가장 중요한 문제는 불확실성의 성질에 대한 사용자의 이해에 있으며 여기에는 3가지 특성 즉, 공간, 속성 및 시간의 특성이 있다. 시·공간의 차원에서 객체에 대한 불확실성의 성질을 정의하기 위해서는 시·공간이 다른 객체와 분리될 수 있는가에 대한 결정이 내려져야 하고 이러한 결정은 전문가의 신중한 판단을 요하는 복잡한 과정이다.

공간자료기반이 사용될 때는 다음과 같은 2가지 문제를 해결해야 한다.

첫째, 객체가 다른 유사한 클래스로와 분명하게 분리되어 도식화되었는가?

둘째, 동일 클래스 내에서 지형적인 요소가 개념적으로 분명하게 다른 지형적인 요소와 분리되었는가?

객체를 표현될 현상 및 시간에 대한 속성의 공간분포를 사용하여 명확하게 공간적으로 별개의 객체로 분리하는 것이 가능하다면, 여기에서는 정의의 문제가 없다. 명확히 정의되는 현상들은 그들의 속성에 기초하여 개개의 객체를 동일클래스 또는 공간적으로 인접한

동질의 영역으로 분리하기 위한 분명한 특성을 가져야 한다.

2.2 오차

개념화된 객체가 속성과 공간의 차원에서 정의할 수 있다면, 이 객체는 객체가 임의의 위치에 포함여부를 나타낼 수 있는 불린 연산이 가능하다. 그러나 공간자료에서는 많은 이유 때문에 객체나 위치의 클래스 할당은 확률이론으로 표현될 수 있으며, 이러한 원인 중에서 대표적인 것은 다음과 같다.

첫째, 관측 오차에 기인한 확률.

둘째, 발생의 빈도에 의한 확률.

셋째, 전문가 관점에 기초한 확률.

이러한 오차 중에서 관측에 관련된 오차해석과정이 가장 잘 발달되어 있기 때문에 가장 다루기 쉬운 것이다. 객체 특성의 참값을 정확하게 알 수 있다면, 특성의 관측을 반복함으로써 실세계 관측오류의 분포를 식별하는 것이 가능할 것이다. 그 후에 관측에서 오차의 분포를 계산하여 관측 오차의 완전한 오차모델을 만들 수 있으며, 이것이 수치표고 모델에서 오차를 나타낼 수 있는 평균제곱근 오차의 기본이다.

비공간적 오차를 설명하기 위한 보다 향상된 방법은 오차매트릭스를 생성하는 것이며 이러한 방법은 위성영상을 이용한 분류에 많이 사용되어 왔다. 그러나 오차매트릭스는 분류과정이나 지상정보의 해석이 정확하지 않으면 사용에 제한이 있다.

확률이론은 현상의 발생 빈도에 기초를 두고 있으며 오류해석 분야에서 확률이론의 가장 일반적 응용분야는 기상과 홍수 예측분야에서 찾아볼 수 있다. 여기에서 특정 표고의 홍수는 이 수준의 홍수 발생확률을 해석함으로써 알 수 있다.

2.3 모호성

수학과 통계학적 이론에 근거한 오차 및 확률과 비교하여 모호성은 철학과 논리의 영역이다. 모호성의 개념을 설명하기 위하여 일반적인 방법은 대머리의 경우를 사용한다. 머리카락이 전혀 없는 사람은 대머리로 간주된다면 하나의 머리카락이 있는 사람은 대머리인가? 일반적으로 사용되는 대머리의 정의에 의하면 이러한 질문에 대한 답은 “그렇다”이다. 이러한 질문을 한번에 하나의 머리카락을 더하면서 계속한다면, 하나의 머리카락을 더하는 것은 결코 대머리를 대머리가 아닌 사람으로 바꿀 수 없다. 이와 반대로 머리카락이

머리에 가득 있는 사람을 대머리라고 받아들이기는 어려울 것이다. 이러한 것은 소리테스 모순(*Sorites Paradox*)으로 알려져 있고 이러한 모순을 해결하기 위한 많은 해결책이 제시되어 있지만 가장 널리 사용되고 있는 것이 질문에 대한 불린 반응(예, 아니오) 만을 갖는 논리로서 점진적인 답은 허용되지 않는다. 그러나 대머리로 받아들여지는 정도는 있으며, 좀더 자세히 살펴보면 대머리를 판단할 수 있기 때문에 초기의 질문은 거짓일 수 있다. 그래서 어떤 사람이 완전히 대머리인지를 물을 수 있고 이 사람을 머리카락이 전혀 없는 사람으로 간주할 수 있다. 또한 이러한 논리에서는 머리카락이 전혀 없다, 어느 정도 있다 등과 같은 설명이 맞다 할지라도 사용할 수 없으며 관측정도는 문제가 아니기 때문에 이러한 분류는 원래부터 모호하다.

소리테스모순은 모호함의 개념을 정의하기 위하여 사용되는 방법 중의 하나로서, 어떤 개념이 소리테스모순에 민감하다면 이것은 모호한 것이며 많은 지리적인 현상이 소리테스모순에 민감하다.

2.4 애매성

지형공간정보에서 애매성의 개념과 중요성에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않았다. 애매성은 현상의 다양한 인식 때문에 어떻게 분류되어야 하는가에 대한 의문이 있을 때 발생한다. 애매성에는 불일치와 불특정성의 2가지 형태가 존재한다. 다른 영역의 연구에서는 부분적인 해결책이 제시되었지만 지형공간정보에 관련한 연구는 매우 부족한 실정이다.

지리학에서 애매함을 통한 불일치의 가장 확실한 형태는 특정 토지에 대한 국가 간의 영토 분쟁을 들 수 있다. 이러한 것은 국가영토의 정치적 경계와 국민들의 생각 사이의 불일치를 나타내고 있다. 많은 지형공간정보 역시 명확하게 정의되지 않는다.

불특정성을 통한 애매성은 지리적 현상의 상호 관계로부터 설명될 수 있다. “A는 B의 북쪽이다”의 관계 자체는 북쪽의 개념이 적어도 3개의 특정 의미를 가질 수 있기 때문에 불특정이다. 즉, A가 B와 같은 경도 상에 있으면서 B의 북쪽에 있을 경우, A가 B를 동에서 서로 통과하는 직선의 북쪽 어느 곳에 위치하는 경우, 일반적인 의미로 A는 북북동 및 북북서에 각각 가까운 북-동 사이 및 북-서 사이의 영역에 놓여 있을 경우의 3가지의 의미를 가질 수 있다. 첫째와 둘째의 의미는 정확하고 특정적이며 유효하지만 마지막 의미는 일상적인 언어의 개념으로 애매하다. “~의 북쪽”의 해석에서 기준에 대한 정의가 부족하여 불확실성이 발생한다.

3 적용 및 고찰

3.1 대상지역

본 연구의 대상지역은 그림 3.1과 같은 전라북도 전주시와 완주군을 포함하는 삼천유역을 대상으로 하였다. 삼천유역의 상류는 농경지역이, 하류는 도심지역이 발달되어 있는 지역으로 유역면적은 약 152.3km²에 달한다.

3.2 공간자료

본 연구에서 다루는 공간자료는 DEM, 토지피복도 및 토양도로 한정하였으며 공간자료의 구조는 GIS에서 공간 모델링을 위하여 가장 많이 사용되는 격자형태를 대상으로 하였다. 각각의 자료를 작성하기 위한 자료원은 DEM 자료는 1/5000의 수치지형도를, 토지이용도는 LANDSAT TM영상을, 토양도는 1/25,000정밀 토양도를 각각 이용하여 작성하였으며, 각각의 자료에 대한 정확도 평가에 대한 내용은 본 연구의 범위에 포함하지 않았다.

DEM으로부터 추출되는 인자의 정확도는 표고관측 방법, 관측지점의 위치 및 밀도, DEM 생성방법, 자료모형 또는 표고자료 구조(격자, 등고선 및 TIN)와 수평 및 수직정밀도, 지형의 복잡성 및 사용 알고리즘에 의하여 결정된다. 그러나 본 연구에서는 DEM 격자크기의 영향 해석에 국한하여 연구를 수행하였다.

토지이용도 및 토양도 또한, 자료원 및 작성방법에 따라 그 정확도가 다르지만, 본 연구에서는 DEM자료와 마찬가지로 격자크기의 변화에 따른 불확실성의 정량화에 국한하여 연구를 수행하였다. 특히, 공간자료를 표3.1과 같이 DEM, 토지이용도 및 토양도 자체를 0차로, 0차자료를 이용하여 계산된 자료를 1차자료로, 1차자료를 이용하여 계산된 자료를 2차자료로 구분하였다.

본 연구에서 제시한 통계 및 확률이론에 기초하고 있는 불확실성 정량화 방법은 2차자료까지의 자료에 한하여 적용하였으며, 대상자료의 통계학적인 변수 수준을 고려하여 가장 낮은 변수 수준인 명목변수로 분류되는 토지이용자료, 토양자료, 향 및 유황자료에 대해서는 반변이도 및 공간자기상관성을 이용한 방법에서 제외하였다. 또한, 등간변수로 분류되는 경사와 LS자료에 대한 RMSE의 적용은 기준값이 되는 높은 정확도의 실측값

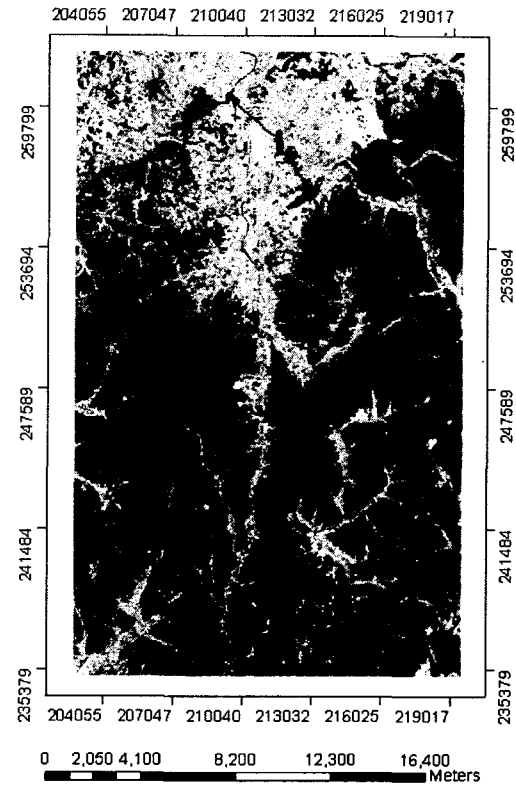


그림 3.1 대상지역 현황

이 존재하지 않기 때문에 본 연구에서 제외하였다.

표 3.1 공간자료의 차수 정의

구분	종 류
0차자료	DEM, 토지이용자료, 토양자료
1차자료	경사, 향, 유향(Flow Direction)
2차자료	LS 인자

3.3 적용 방법

본 연구의 수행 과정은 크게 3단계로 구분할 수 있다. 1단계는 DEM, 토지이용자료 및 토양자료의 공간자료구축 및 표 3.2와 같이 구분한 인자의 추출, 2단계는 누적확률분포, 평균제곱근오차, 반변이도 및 공간자기상관 등을 이용하여 격자크기에 따른 불확실성의 정량화 방안 도출과 각 방법에 따른 특성의 고찰로 구분 할 수 있다. 반변이도를 작성하기 위한 자료의 전처리는 Median Polish 알고리즘을 이용하였다. 마지막으로 3단계는 2단계에서 제시된 정량화 방안을 이용하여 각 공간자료의 격자크기 변화에서 기인한 불확실성에 따른 민감도 해석으로 구분하였다.

표 3.2 본 연구의 주요내용

1단계	공간자료 구축 및 고려인자 추출
내용	○대상자료 : DEM(1/5,000수치지형도), 토지이용도(LANDSAT TM 영상), 토양도(1/25,000 정밀토양도) ○인 자 : 경사, 향, 유향, LS인자
2단계	공간자료의 불확실성 정량화 방안 도출 및 비교
내용	○누적확률분포도 ○평균제곱근오차 ○반변이도 ○공간 자기상관성
3단계	격자 크기변화에 따른 불확실성 분석
내용	○DEM, 토지이용도, 토양도, 경사, 향, 유향, LS 인자에 대한 격자크기 변화에 대한 불확실성 분석.

3.4 공간정보 손실

격자자료는 리샘플링 과정에서 발생하는 일반화에 의해 공간정보 손실이 발생하며 이러한 공간정보의 손실은 결국, 격자자료의 불확실성을 증가시킨다. GIS 소프트웨어에 따라서 이러한 공간정보의 손실을 최소화하기 위하여 다양한 방법이 제공되고 있지만, 공간정보의 손실은 물리적으로 피할 수는 없다. 본 연구에서는 60m 격자의 크기를 기준격자

크기로 결정하였으며, 60m를 포함하여 100m에서 1000m까지 총 11개의 격자크기로 변환하여 정보손실을 비교 및 추정하였다.

그림 3.2와 같이 지형의 기복변화에 따라서 기복이 거의 없는 평지(A지역), 지형의 기복이 완만한 완경사지역(B지역) 및 지형의 기복이 상대적으로 큰 급경사 지역(C지역)으로 구분하여 격자크기의 변화에 따른 정보의 손실 즉, 지형정보손실을 평지는 그림 3.3, 완경사지역은 그림 3.4 및 급경사지역은 그림 3.5에 나타내었다. 그림 3.3 ~ 그림 3.5은 대상지역의 DEM에 대한 격자크기를 증가시켜 각각의 격자크기에 대한 10m 간격의 등고선을 추출하여 지형정보의 손실을 예시 한 것이다.

그림 3.3~그림 3.5에서와 같이 격자크기의 증가에 의한 공간정보 손실은 지형 기복변화의 정도에 상관없이 A, B 및 C지역 모두에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 그러나 지형의 기복변화가 커질수록 계곡과 능선의 구별이 격자의 크기가 증가함에 따라서 모호해지며, 기복변화가 원 지형보다 적어지는 것을 알 수 있다. 결국 지형정보의 손실은 지형의 기복변화가 큰 지역에서 크게 발생하고 있다. 이러한 지형정보의 손실은 리샘플링에서 주변의 값을 이용한 일반화 과정에 의해서 크게 발생하고 있다.

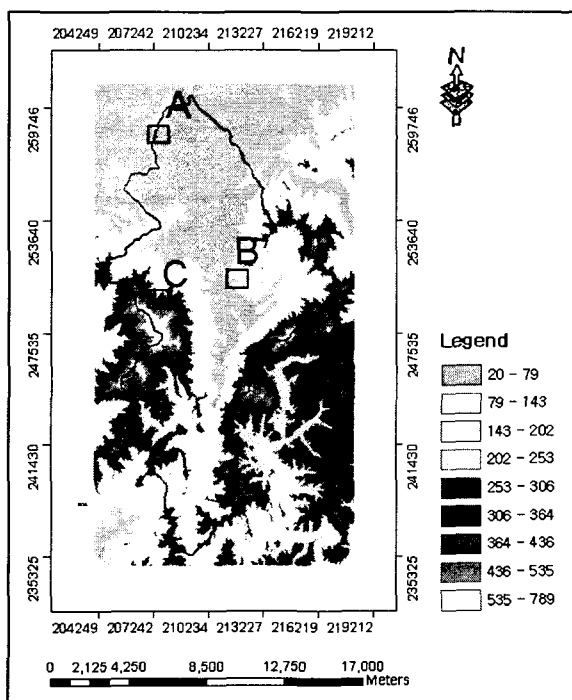


그림 3.2 대상지역 DEM과 지형공간정보 손실 예시의 인덱스 맵

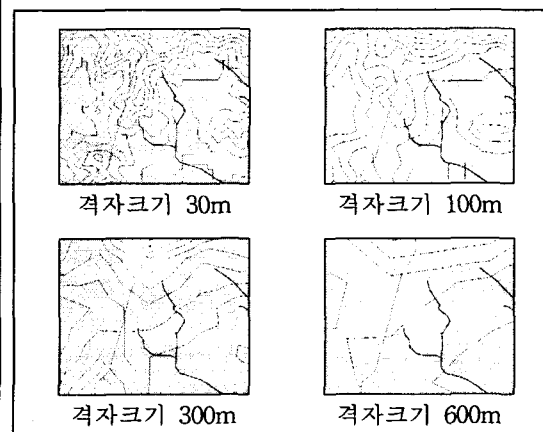


그림 3.3 A지역의 공간정보손실

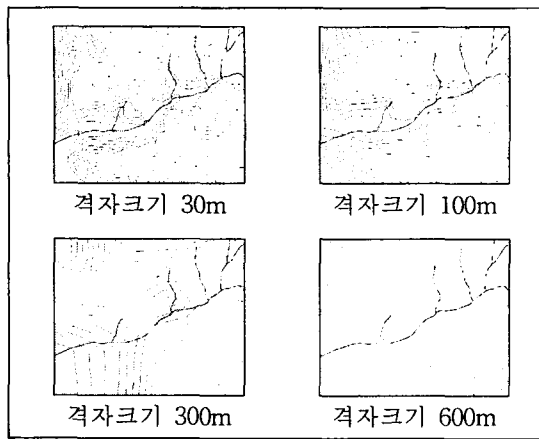


그림 3.4 B지역의 공간정보손실

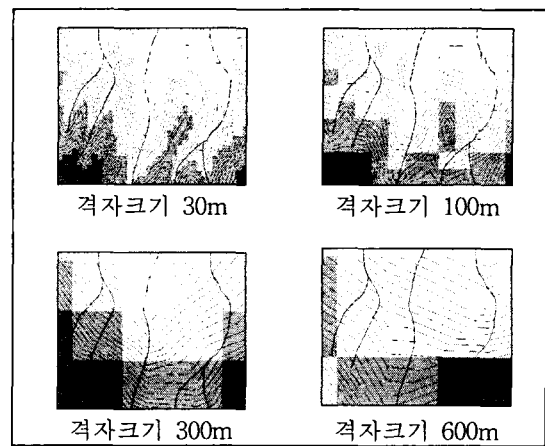


그림 3.5 C지역의 공간정보손실

3.5 공간정보 손실 정량화 및 분석

3.5.1 0차자료

표 3.3은 본 연구에서 정의한 0차자료에 대한 각 공간자료에 대한 각 방법별 최대 변화율을 나타내고 있다. 3가지 자료에 공통적으로 적용된 누적확률분포도의 기울기 변화율과 엔트로피이론의 감소율을 고려할 때 DEM자료가 격자의 크기에 따른 정보의 손실이 가장 큰 것으로 나타났으며, DEM자료의 감소율에는 미치지 못하지만 토양자료에서도 정보의 손실이 상당량 발생하고 있음을 알 수 있고, 토지이용자료에서는 격자크기의 변화에 따른 정보의 손실이 미비한 것으로 나타났다. 이는 DEM자료의 클래스의 수가 상대적으로 토양자료 및 토지이용자료에 비하여 많으며, 단위면적 당 클래스의 수가 많으므로 클래스의 균집화 정도가 낮으며, 공간적인 변이성이 크다는 점에서 원인을 찾을 수 있다.

표 3.3 0차자료에 대한 적용 방법별 최대 변화율(단위 : %)

공간자료 적용방법		공간자료		
		DEM자료	토지이용자료	토양자료
누적확률분포도		655	2	85
평균제곱근오차		877	-	-
변이도		10	-	-
공간 자기상관성	Moran's I	34	-	-
	Geary's C	2975	-	-

3.5.2 1차자료

본 연구에서 1차자료로 정의한 공간자료는 DEM자료를 직접 이용하여 추출한 자료로서 경사자료, 향자료 및 유향자료이다. 표 3.3은 3가지 1차자료에 대한 각 방법별 최대

변화율을 나타내고 있다. 3가지의 1차자료에서는 누적확률분포도 방법 및 엔트로피 이론에 의한 방법 모두에서 향자료가 격자크기에 변화 대한 공간정보의 손실량이 가장 큰 것으로 나타나 경사자료보다 향자료가 격자크기의 변화에 민감한 것으로 나타났다.

3.5.3 2차자료

본 연구에서 정의한 2차자료인 LS자료는 경사자료와 유향자료를 이용하여 작성한 것이며, 경사자료와 유향자료를 계산하기 위하여 사용한 DEM자료를 포함한 2차자료까지의 관계를 표 3.3에 각 방법별 최대 변화율의 관계를 나타내고 있다. 변이도 및 공간자기상관방법에 대한 내용은 LS인자에서는 계산되지 못하였으므로 제외하였다. 여기에서 2차자료인 LS인자 산정에 관련된 모든 자료를 고려할 때 가장 많은 정보의 손실이 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

표 3.3 1차 및 2차자료에 대한 적용 방법별 최대 변화율(단위 : %)

적용방법 \ 공간자료		0차자료	1차자료			
		DEM	경사자료	향자료	유향자료	LS자료
누적확률분포도		655	909	2133	9	8400
변이도		10	64	-	-	
공간 자기상관성	Moran's I	34	20	-	-	
	Geary's C	2975	145	-	-	

4. 결 론

본 연구는 격자형 자료의 해상도 변화에 따른 불확실성의 정량화에 대한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 격자자료의 공간정보 손실에 따른 불확실성 정량화를 위한 다양한 방법을 이용하여 기준격자 선정을 위한 다양한 척도를 제시하였다.

둘째, 누적확률분포도방법은 격자자료의 불확실성 정량화에 있어서 적용성, 용이성 및 변별력이 매우 높게 나타나 불확실성 정량화 방법으로서 가장 적합한 방법임을 알 수 있었다.

셋째, 격자자료의 리샘플링과정에서 공간정보 손실은 공간정보의 공간적인 변이성을 나타내는 단위면적 당 클래스의 수와 군집화의 정도에 매우 민감함을 알 수 있었다.

마지막으로 격자자료의 공간정보의 손실의 정량화 뿐 만아니라 다양한 형태의 공간정

보의 손실 및 불확실성의 정량화에 대한 연구 및 각 응용분야에 대한 영향해석에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Heuvelink G. B. M.(1998), *Error Propagation in Environmental Modelling with GIS*, Taylor & Fancis, pp.33-76.
2. Hunter, G. J., Catano, M. and Goodchild, M. F.(1995b), *A Methodology for Reporting Uncertainty in Spatial Database Products*, URISA, Vol. 7, No. 2, pp.11-21.
3. Kitanidis, P.(1997), *Introduction to Geostatistics Applicaitons in Hydrogeology*, Cambridge University Press, New York, NY, p.249.
4. Arlinghaus, S., L., and Arlinghaus, W., C.(2002), *A Graph Theoretic View of the Join-Count Statistic*, <http://www-personal.umich.edu/~sarhaus/image/sols193.html>.
5. Atkinson, P. M. and Curran, P. J.(1997), *Choosing an appropriate Spatial Resolution for Remote Sensing Investigations*. PE&RS, Vol.63, No.12, pp.1345-1351.
6. Bedard, Y.(1987), *Uncertainties in land information systems database*. Proceedings AUTO-CARTO 8. Baltimore, Maryland, pp.175-184.
7. Bolstad, P. and Stowe, T.(1994), *An Evaluation of DEM Accuracy: Elevation, Slope, and Aspect*, PE&RS, Vol.60, No. 11, pp.1327-1332.
8. Brown, D. and Bara, T.(1994), *Recognition and Reduction of Sytematic Error in Elevation and Derivative Surface from 7.5-Minute DEMs*, PE&RS, Vol.60, No. 2, pp.189-194.
9. Burrough, P. A.(1988), *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press · Oxford, pp.103-135
10. Burt, J. E. and Barber, G. M.(1996), *Elementary Statistics for Geographers*, Guilford, pp.411-421.
11. Carter, J.(1990), *Some Effect of Data Precision on the Calculation of Slope and Aspect using Gridded DEMs*. Cartographica, Vol. 29, No. 1, pp.22-34.
12. Cressie, A. C.(1991), *Statistics for Spatial Data*, John Wiley & Sons, INC, pp.186-187.
13. David F. M.(2001), *Digital Elevation Model Technologies and Applications : The DEM Users Manual*, ASPRS, pp.1-34,