地理學論叢 第33號(1999. 2), 27-44.

GIS를 활용한 국내 말라리아 발생에 관한 연구

박 미 라*

Application of GIS to Malaria Study in Korea

Mi-La Park *

요약 : 말라리아가 전세계적으로 유행(Panepidemic)하고 있던 시기에는 말라리아를 박멸하고자 하는 많은 노력들이 일어났다. 그러나 근 20여 년간 말라리아가 감소하는 경향을 보이자 말라리아 박멸에 관한 관심도 감소하게 되었다. 최근 말라리아가 사라졌던 여러 지역에서 재출현하고 있다. 우리 나라도 그러한 국가중의 하나이다. 현재 재발생하고 있는 말라리아에 대한 적절한 관리와 통제를 위해서 국내에서 발생하는 말라리아에 관한 다각적인 연구가 필요하다. 이에 이 연구에서는 기존의 환자의 병력을 조사하던 마이크로 스케일의 연구와 더불어 GIS를 이용한 매크로 스케일의 연구를 수행하였다. 이러한 연구는 말라리아 발생에 영향을 미치는 지리적 요소를 살펴보는 것을 목적으로 한다. 이 연구에서는 말라리아 발생에 관한 탐색적 공간 분석과 말라리아 발생에 영향을 미치는 위험 요소들에 대한 확정적 공간 분석을 수행하였다. 이 연구 결과는 앞으로 말라리아 발생의 위험 지도를 작성하기 위한 기반이 될 수 있다. 위험지도는 말라리아 발생의 위험을 예측할 수 있는 지도로 활용할 수 있다. 위험지도가 구축된다면 말라리아 통제에 보다 효과적인 도구로 사용할 수 있을 것이라 예상한다.

主要語 : GIS, 보건 지리학, 말라리아, 공간분석, 임의적 지역구획 문제

Abstract : The time malaria was panepidemic world-widely people put on their efforts to eradicate it. But past 20 years attention with regard to malaria is not drawn so that it is reemerging at a number of places where malaria already disappeared. Korea is one of them. For necessary monitoring and control a wide range of epidemic survey about malaria outbreak in domestic needs to be proceeded. For this macro scale research under GIS is kept pace with micro scale research concentrated on nothing but patients' case history. It is supposed to apply geographic factor affected to the malaria outbreak to geographic information systems. Exploratory spatial analysis concerning malaria incidence and confirmatory spatial analysis about causing malaria outbreak are performed. In conclusion the outcome of this research can be a base solution to make risk map for warning malaria outbreak. Supposed that GIS is installed to draw risk map it is expected to be effective controlled malaria outbreak.

Keyword : GIS(Geographical Information Systems), Medical Geography, Malaria, Spatial Analysis, MAUP(Modifiable Areal Unit Problem)

I. 서 론

1. 연구 배경

보건지리학은 질병의 원인을 규명하기보다는 질병발생의 원인을 규명한다는 점에서 의학과 구별된다. 특히, 질병의 발생원인이 환경과 관련된 질병(일명 : 환경성 질환)인 경우, 지리적 접근이 의학적 접근보다 더욱 효율적이다. 지리적 접근을 통해, 환자의 병력이나 습관을 조사하여 질병의 원인을 밝혀내는 기존의 마이크로 스케

* 서울대학교 대학원 석사과정 졸업

일 연구에 질병의 발생과 관계 있는 지리적 또는 환경적 요인을 살피는 매크로 스케일의 연구를 보완할 수 있다. 또한, 환경과 관련이 있으면서 특정 지역에서 꾸준히 발생해온 질병(일명 : 풍토병)의 경우에도 지리적 접근이 필요하다.

최근 우리 나라에서 발생하는 말라리아(Malaria)는 특수한 개인의 습관에 의해 야기되는 질병이 아니라 환경의 영향을 많이 받는 매개체에 의해 감염되는(Vector Borne) 질병이다. 또한, 현재 우리 나라의 경기도 북부 지역에서 말라리아 발생이 3-4년간 지속적으로 증가 추세를 보이고 있어 이 지역에서 풍토화(Endemicity) 조짐을 보인다. 이러한 점에서 말라리아는 지리적 접근법을 사용하여 연구하는 대상으로 적합하다.

2. 연구 동향

히포크라테스가 Epidemic I, Epidemic III, Air · Water & Place 라는 저서에서 지역에 대해 고려하기 시작한 이후, 존 스노우(John Snow)는 콜레라 유행의 원인을 밝히기 위해 지도를 이용하였다. 지도를 이용하여 콜레라 발생의 분포를 탐색한 결과 콜레라 유행이 오염된 상수원의 위치와 연관되어 있다는 사실을 밝혀내었다.

인간의 건강은 상수원을 사용하는 것과 같은 생활 습성뿐 아니라 다양한 환경요인에 의해서도 영향을 받는다. 이 때 지역은 사회 · 인구학적 요인과 자연적 요인을 함께 묶어 질병 발생에 영향을 미치는 공통된 변수로 취급되었다. 또한, 지도는 지역적인 특색을 효율적으로 밝히는 유용한 도구가 되었다.

인간에게 발생하는 질병문제를 해결함에 있어서 질병을 치유하는 것 이상으로 중요한 것이 질병의 원인을 규명하는 것이다. 보건지리학이 질병을 치유하는 의학과 구별될 수 있는 것은 바로 이러한 특징 때문이다. 즉, 지역적 특색과 지도를 활용하여 이미 그 원인과 전파기전이 잘 알려진 질병의 발생 원인을 찾아낼 수 있다. 말라리아는 1980년대 완전히 소멸되었다고 판단되었으나 최근 재출현하고 있어 관심을 모으고 있다. 사라졌던 말라리아가 다시 나타나게된 원인을 찾아보는 것이 이러한 연구의 좋은 예가 될 것이다.

더욱이 질병의 발생원인 중 지리적 요소와 연관된 부분을 규명해 보고자 하는 연구가 공간 역학(Spatial Epidemiology)분야에서 활발하게 진행되고 있다. 이러한 연구들은 주로 질병의 공간적 확산이나 공간적 연관성(Spatial Nonrandomness)을 밝히는 방향으로 초점을 맞추고 있으며(Gatrell A.C. et al, 1995), 최근 GIS를 이용하여 더욱 활기를 띄고 있다.

3. 연구 목적

현재 과거에 박멸되었던 말라리아가 재출현함으로써 말라리아에 대한 다각적인 연구가 요구된다. 이 연구에서는 GIS를 이용하여 말라리아 발생의 공간적 분포를 살펴보고 말라리아 발생과 지리적 요인의 연관성에 관하여 분석한다.

4. 연구 내용과 방법

GIS는 방대한 지리자료를 처리할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이에 말라리아 발생과 연관성이 있는 지리적 요소로서 기상요소와 토지피복요소를 함께 산정한다. GIS 연산인 보간(Interpolation)과 Focal 연산을 통해 지리적 요소에 대한 연속면지도를 제작한다. 제작된 연속면 지도에서 나타나는 지리적 요소의 공간적 분포를 탐색적(Exploratory) 분석을 통해 파악보고, 이러한 요소들이 말라리아 발생에 미치는 영향을 확정적(Confirmatory) 분석을 통해 살펴본다. 또한, 분석시 공간단위에 따라 변화하는 분석 결과의 차이를 살펴본다.

구체적인 연구 방법은 다음 연구 흐름도와 같다.

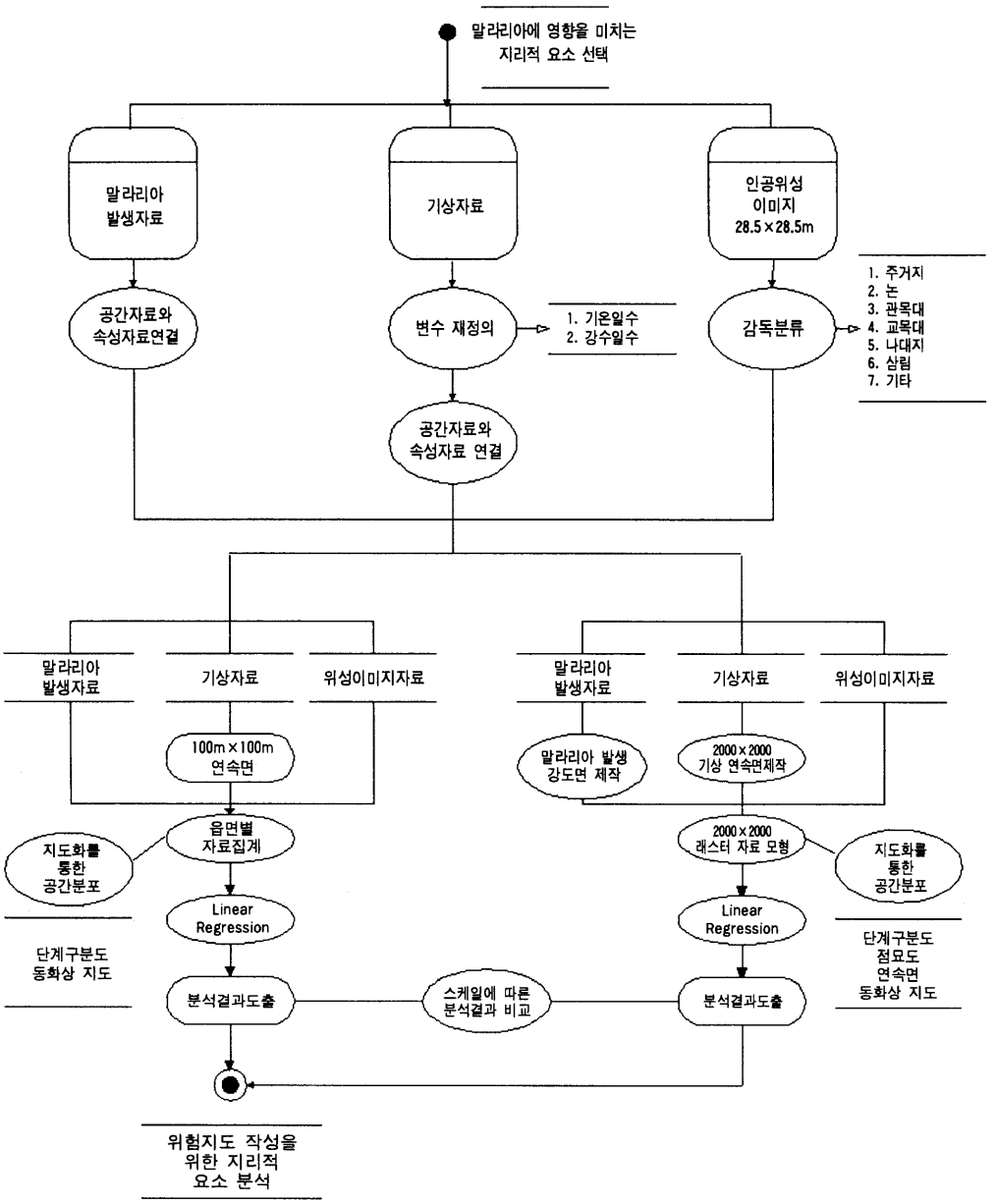

그림 1. 연구 흐름도

Ⅱ. 자료의 가공과 탐색

1. 연구 지역

이 연구는 강원도의 철원군, 경기도의 연천군·파주군(95년도 행정경계)·김포군, 인천 광역시의 강화군을 대상으로 한다. 이 지역은 1993년 이후 현재까지 말라리아가 다발하고 있으며, 현재 우리나라에서 발생하고 있는 대다수의 말라리아의 발생지이므로 연구대상 지역으로 적합하다. 그림 2는 연구지역을 나타내는 지도이다.

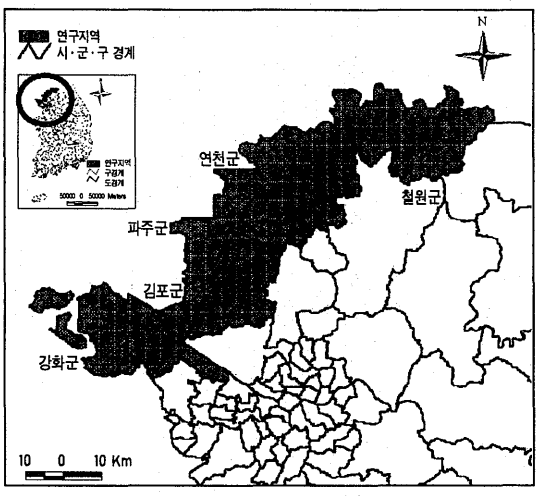

그림 2. 연구지역

2. 자료의 가공과 탐색

1) 말라리아 발생 자료

이 연구에서는 1997년 5월에서 10월에 발생한 말라리아 환자 중 주소를 추출해낼 수 있었던 1,005명을 연구대상으로 삼는다. 그 외에 파일롯 연구에서 사용하였던 1994년에서 1996년까지 자료의 일부는 참고 자료로 제시한다.

(1) 말라리아 발생 자료의 구축

말라리아 발생의 지도화는 환자의 발생 주소를 추출하여 공간정보로 활용함으로써 가능하다. 수치지도로 되어있는 공간 자료에 속성 자료를 연결하여 지도화하기 위해서는 속성자료도 공간 자료와 같은 코드체계를 갖도록 주소를 변환한다. 현재 사용하고 있는 수치지형도의 행정구역은 행정주소 코드를 기준으로 하고 있으므로 발생 자료는 행정주소 코드를 기준으로 변환하였다.

(2) 말라리아 발생자료의 탐색

말라리아 발생을 연도별·지역별로 살펴보면 그림 3과 같다. 1994년도는 총 18명의 환자가 발생하였으며 그 중 철원이 8명(44.4%)으로 가장 많이 발생하였다. 1995년도는 총 88명 중 연천이 48명(54.5%)으로 가장 많이 발생하였고, 다음 파주에서 28명(31.8%)이 발생하였다. 1996년도에는 총 339명의 환자 중 연천이 170명(50.1%), 철원이 52명(15.3%)의 순으로 발생하였다. 1997년도에는 연천군이 482명(47%)으로 가장 많이 발생하였고, 다음이 파주 301명(30.2%), 철원 214명(20.9%), 강화 10명(1.9%), 김포 1명(0.1%)의 순으로 발생하였다. 1994년을 제외하고 연천 지역의 말라리아 발생이 전체 발생의 약 50%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 지역별 전년도 대비 말라리아 환자의 증가수를 나타낸다.

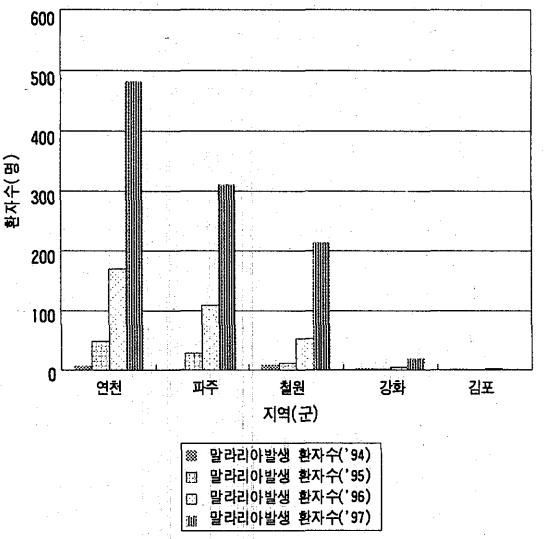

그림 3. 1994년부터 1997년까지 말라리아발생 분포(군별)

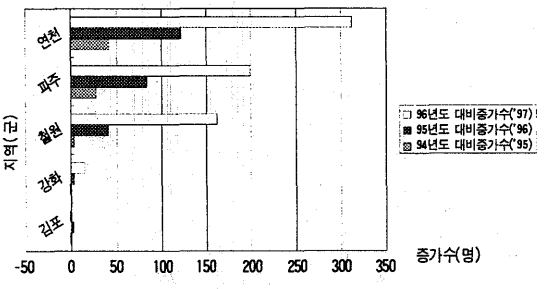

그림 4. 전년도 대비 말라리아 환자의 증가수

그림 4에서 보는 바와 같이 연천 지역에서의 환자 발생 증가가 다른 어떤 지역보다 높게 나타나고 있다. 또한, 철원지역은 1995년도의 증가에 비해 1996년도의 증가폭이 큰 점에도 유의할 필요가 있다.

그림 5는 말라리아 발생의 월별 분포를 나타낸다.

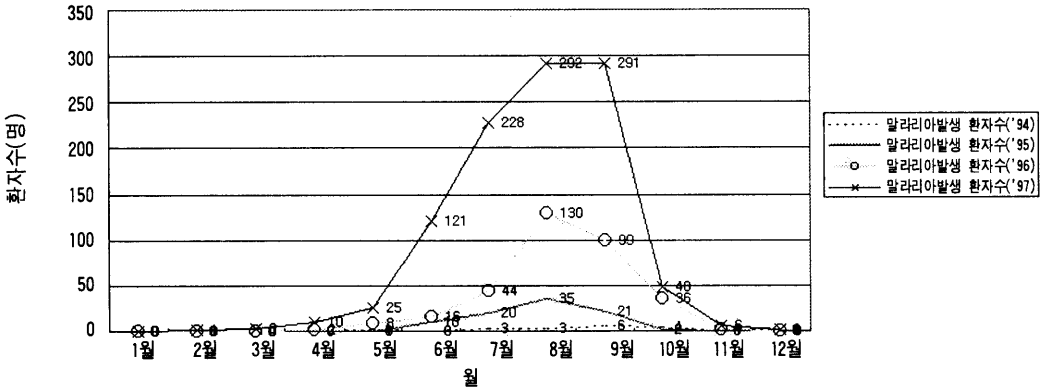

그림 5. 말라리아 발생환자의 월별 분포

그림 5에서 5월부터 말라리아 발생이 급증하여 8월과 9월에 가장 많이 발생하고 10월부터 발생수가 현저하게 떨어지는 것을 살펴 볼 수 있다. 5월과 10월 사이에만 말라리아 발생환자가 집중적으로 나타나는 것은 말라리아 원충의 활동에 영향을 미치는 최저 온도의 영향 때문이다(Bruce L. J., 1993).

그림 6은 1961년부터 1965년까지 월별발생 환자 비율과 1994년부터 1997년까지 월별발생 환자 비율을 비교하여 보여주고 있다.

최근에 유행하는 말라리아 환자의 발생시기를 과거 1961년에서 1965년까지의 발생시기와 비교하면, 1개월 정도 늦추어지는 양상을 살펴 볼 수 있다. 즉, 1961년에서 1965년까지 말라리아 환자가 가장 많이 발생하는 달이 7월과 8월이었던 것에 반해 1994년에서 1997년까지 합산하여 살펴본 자료에 의하면 8월과 9월이 가장 많이 발생하는 달로 나타났다(그림 6).

2) 기상 자료

기온은 모기의 흡혈비율(Biting rate)과 모기의 생활환(Life cycle)에 영향을 미치며, 강수량은 모

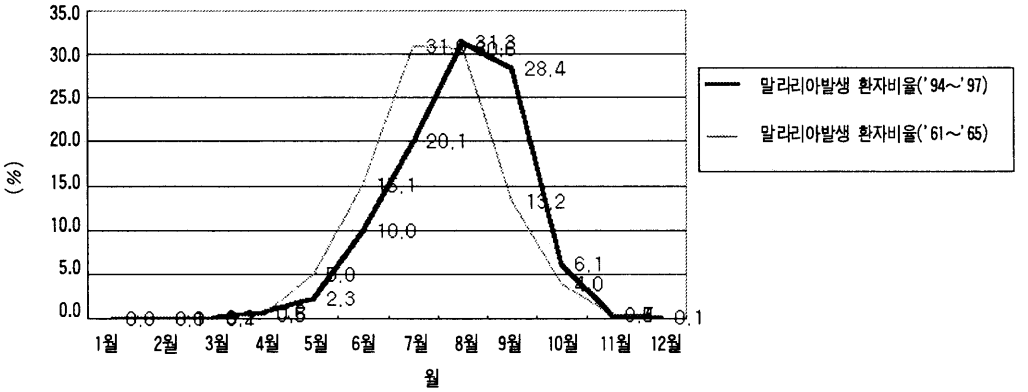

그림 6. 1961~1965까지 월별발생 환자 비율과 1994~1997년까지 월별발생 환자 비율의 비교

기의 감염력에 영향을 미친다. 그림 7은 모기·인간·기상과의 연관성을 나타낸다.

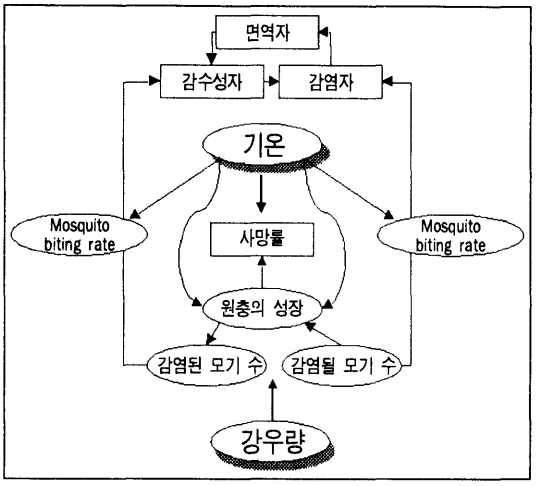

그림 7. 모기-인간-기상과의 연관성

(1) 기상과 발병수간의 관계

현재 우리 나라에서 나타나고 있는 말라리아 발생이 기상요소와 연관성을 보이고 있는지를 살펴보기 위해서 1994년도에서 1996년도 말라리아 일별 발생자료와 3지역(파주, 연천, 철원)에서 측정된 일별 기상 자료(평균기온, 상대습도, 강우량)와의 상관성에 대하여 파일롯 연구를 실행하였다.

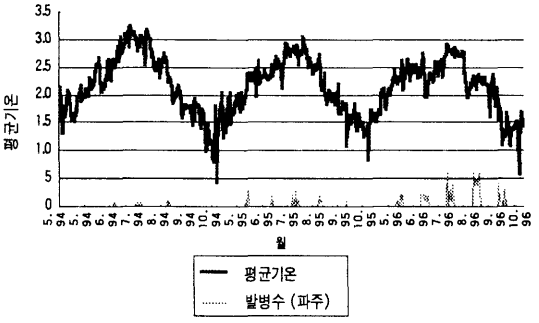

그림 8. 파주 지역의 일별 평균기온과 발병수와의 관계
(1994년부터 1996년의 5월부터 10월까지의 기간)

그림 8에서와 같이 1994년에서 1996년으로 갈수록 일별 발병수는 평균기온의 분포 형태와 유사하다. 그러나 습도나 강우량의 일별 분포와 같은 다른 기상 요소는 일별 평균기온에 비해 일별 발병수와 약한 관련성을 보였다.

(2) 기상 자료의 구축

말라리아 발생과 기상간의 연관성을 공간적으로 살펴보기 위해서는 기상 자료의 재정의가 필요하다. 이에 이 연구에서는 말라리아 발생에 영향을 미치는 최적 기상요소를 이용하여 변수를 재정의한다. 재정의한 변수는 다음과 같다.

첫째, 말라리아 발생의 최적 온도인 20°에서 30°에 해당하는 5월부터 10월까지의 일별 평균기온 중 이에 해당하는 일수를 계산하여 새로운 변수를 산출하였다.

둘째, 연구기간동안에 해당하는 5월부터 10월까지 중 0.1mm이상의 강수량이 기록된 일수를 계산하여 강수일수라는 변수로 정의하였다.

그림 9는 기상 자료의 처리 과정을 나타낸 흐름도이다.

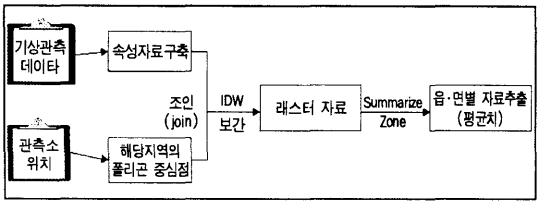

그림 9. 기상 자료 처리과정

불연속적인 기상 자료를 연속적인 값으로 표현하기 위해 이 연구에서는 거리에 따라 가중치를 부여하여 연속적인 변화량을 산출하는 방법인 IDW(Inverse Distance Weighted) 보간법를 선택하여 기상 연속면을 제작하였다. 이 연구에서 사용한 기상 래스터 자료의 시작점은 연구지역을 모두 포괄하는 임의의 점으로 일치시켰다. 래스터 자료 모형의 격자크기는 그림 10과 같은 분석을 통해 민감도가 적게 나타나는 값 중 하나를 임의로 선택하였다. 민감도를 측정한 결과 격자의 크기가 100m에서 600m까지는 속성값에 커다란 변동이 없으나 700m와 800m에서 매우 민감하게 나타나는

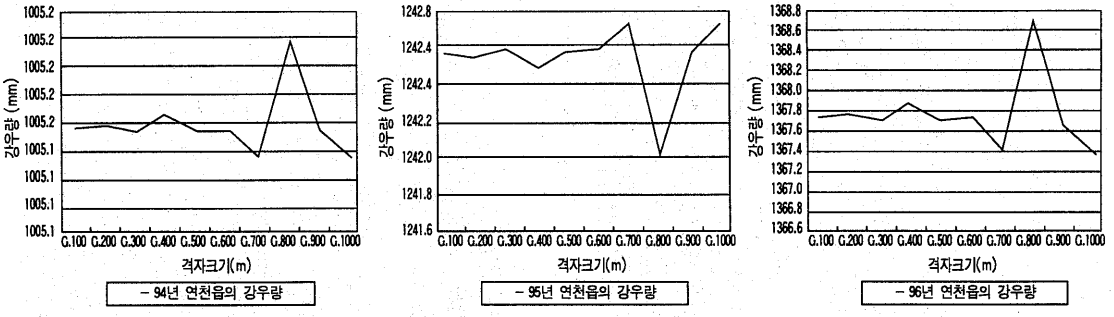

그림 10. 집적된 기후값의 변화

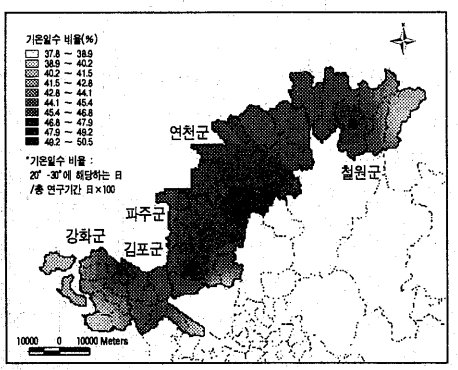

그림 11a. 기온일수비율로 생성한 연속면

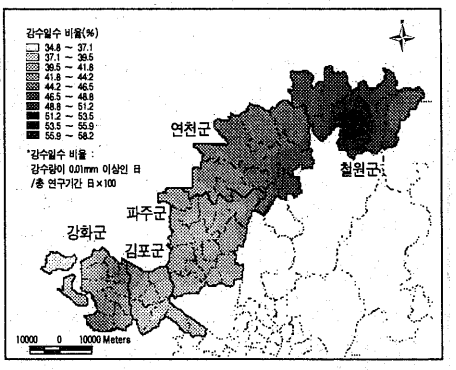

그림 11b. 강수일수비율로 생성한 연속면

것을 확인할 수 있었다. 그림 10은 격자의 크기에 따라 집계된 기후 값의 변화를 나타내고 있다.

그림 11 a,b는 보간된 값을 이용하여 생성한 연속면이다.

3) 인공위성 자료

이 연구에서는 인공위성에서 감지한 경기도 북부지역을 포함하고 있는 원격탐사자료로 Path 116, Row 34(1996년 9월 1일)와 Path 116, Row 33(1995년 10월 1일)의 Landsat TM(Thematic Mapper)을 이용하였다. 이를 이용하여 토지 피복 종류를 분류하고 말라리아 발생과 연관성이 있는 토지피복요소를 추출한다. 인공위성이미지 분석은 그림 12와 같은 과정을 거치게 된다.

(1) 기하보정 (Geometric Correction)

기하보정을 위해서 좌표 변환의 기준이 되는 지상기준점(Ground Control Point)을 선정하여야 한다. 이 연구에서 지상기준점은 RMSE(Root Mean Square Error)가 1 화소(Pixel)이하인 14개와 18개의 지상기준점을 최종 기준점으로 정하였다. 그림 13 a, b는 GCP를 선정한 결과를 나타낸다.

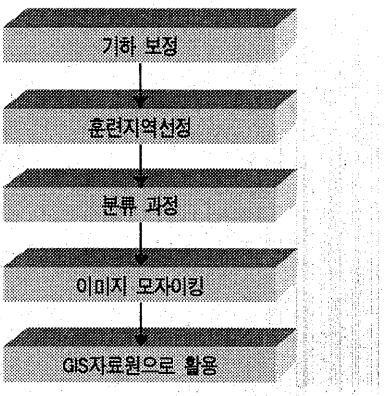

그림 12. 인공위성이미지 분석 절차

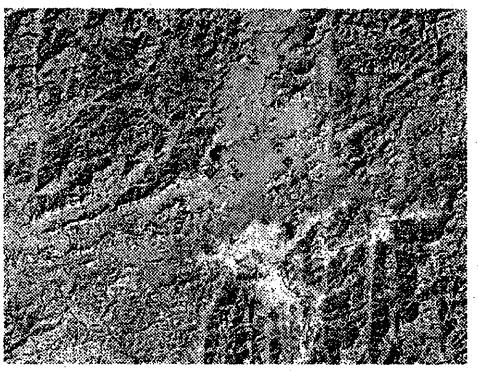

그림 13a. GCP선정(Row33)

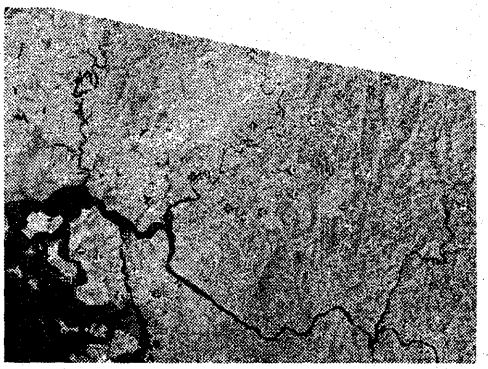

그림 13b. GCP선정(Row34)

GCP좌표를 선정한 후, 좌표 변환과 픽셀의 재배열 과정을 거친다. 이 논문에서는 좌표변환을 위해서 Affine 방정식을 사용한다. 픽셀의 값을 변환된 좌표로 재배열하는 방법은 인접 4개 화소값의 가중평균값을 계산하는 Bilinear Interpolation 방법을 사용한다.

그림 14는 좌표가 보정된 두 장의 위성 이미지를 모자이크의 Feathering을 이용하여 결합시킨 것이다. 결합된 위성 이미지에 행정 경계 커버리지를 중첩하였다.

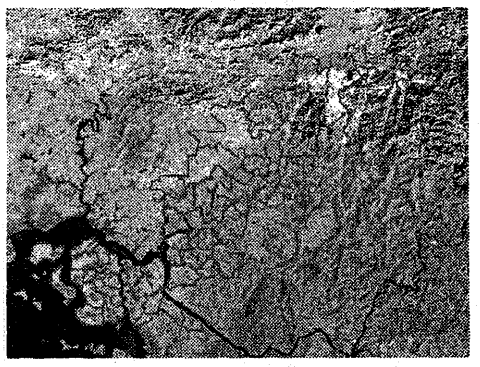

그림 14. 기하보정 후 ROW 33/34 자료 모자이킹

(2) 이미지 분류

이미지는 최대우도법(Maximum Likelihood Classifier)을 사용하여 감독 분류(Supervised Classification) 하였다.

Landsat TM을 이용한 토지이용 분류는 미국지질조사기관(USGS : U. S. Geological Survey)에서 제시하고 있는 분류등급 중 level I 수준으로 분류하는 것이 가능하다. 그러나, 우리 나라에는 영구동토나 툰드라와 같은 토지피복은 존재하지 않기 때문에 분류등급을 조정할 필요가 있다. 이 연구에서 사용한 토지피복 분류는 각 화소가 나타내는 분광의 특징과 지형도상의 토지이용상황을 고려하여 분류하였다. 분류된 7가지의 토지 피복 요소는 표 1과 같다.

표 1. 토지피복의 분류

분류등급	분류항목	비 고
I	거주지역	집, 막사 포함
II	논	추수기의 논
III	관목	고도와 식생의 분광 특성에 따른 분류
IV	교목	
V	황무지	강가의 모래, 도로 포함
VI	수계	임진강과 저수지, 서해 일부 포함
VII	기타	미확인

분류된 이미지는 연구 대상 지역 중 일부 지역을 답사하여(Ground Truth) 정확성을 검증하였다. 그림 15 a, b는 답사 지역 중 이미지 분류 항목에 해당하는 실제 토지피복 상황을 보여주고 있다.

그림 16은 위와 같은 분류과정을 거쳐 작성된 토지피복 분류도이다. 분류된 이미지는 래스터 자료형으로 GIS에서 활용할 수 있다.

그림 15a. 토지피복의 예(삼림)

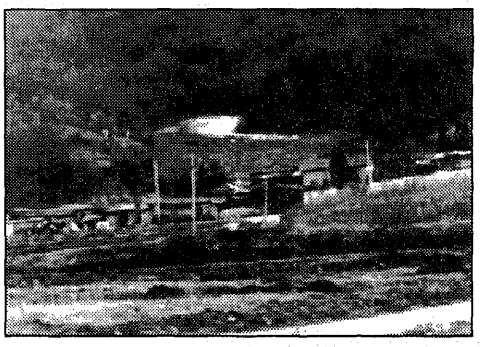

그림 15b. 토지피복의 예(주거지)

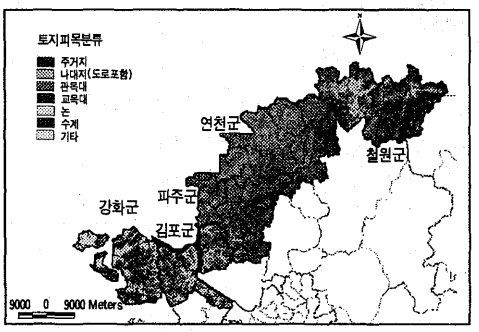

그림 16. 토지 피복 분류도

Ⅲ. 말라리아 발생의 탐색적 분석과 확정적 분석

이 장에서는 말라리아 발생에 미치는 지리적 요인의 영향을 탐색적 공간 분석(Exploratory Spatial Analysis)과 확정적 공간 분석(Confirmatory Spatial Analysis)을 통해 살펴본다. 또한, 읍·면 단위의 모델과 2000m×2000m 격자 단위의 모델을 비교하여 자료의 공간 단위가 분석결과에 미치는 영향(Scale Effect)에 대해서 언급하도록 한다.

말라리아 발생 자료가 갖는 공간성을 이용한 공간 분석은 크게 탐색적 공간 분석과 확정적 공간 분석으로 구별할 수 있다. 탐색적 공간 분석은 지도를 통해 공간 객체(Spatial Object)의 분포유형이나 관계를 제시한다는 점에서 데이터 분석(Data-Driven Analysis)이라고 할 수 있으며, 확정적 공간 분석은 설정된 가설의 검증을 통해 설명력을 찾는다는 점에서 모델분석(Model-Driven Analysis)이라고 한다(Douven W. *et al*, 1995).

이러한 분석 방법들의 결과는 분석 단위가 어떠한 구역 체계(Zoning System)를 기반으로 하는가에 따라 달라진다. 즉, 자료의 집계 단위가 읍·면 단위인가 리 단위인가에 따라 분석 결과가 달라지는 것을 살펴 볼 수 있다.

1. 말라리아 발생의 공간 분포

1) 단계구분도(Choropleth Map)

단계구분도는 공간 사상의 발생 현황을 유형별로 분류하여 표현하는데 효과적이다. 연구지역의 특수성으로 인하여 단계구분도로 표현할 수 있는 최소 단위는 읍·면 단위이다. 단계구분도를 통해 말라리아 발생 분포의 지역적인 차이를 표현해 줄 수 있다.

그림 17은 말라리아 발생환자 자료에서 추출한 발병 추정 주소를 이용하여 단계구분도를 제작한 것이다. 연천군 신서면에 168명(16.7%), 중면에 119명(11.8%), 철원군 철원읍에서 103명(10.2%)으로 가장 높게 나타나고 있다. 반면, 연천군의 미산면을 포함한 21개 읍·면에서는 발생환자가 없었다.

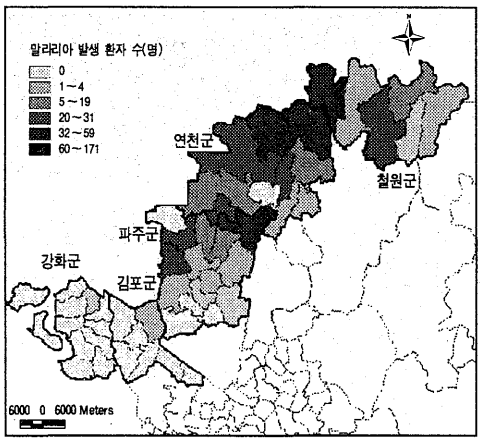

그림 17. 말라리아 발생 환자의 분포도 (97년도)

2) 연속면 지도(Surface Map)

단계구분도는 공간사상을 유형별로 표현할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 자세한 분포유형을 표현할 수는 없다. 즉, 단계구분도를 표현하는 공간단위(행정구역) 수준의 분포유형을 표현할 수 있으나 공간단위 내부의 분포유형을 표현할 수 없다. 이 연구의 대상 지역과 같이 특수한 지역은 수치지형도가 세밀하게 작성되어 있지 않다. 수치지형도가 갖는 공간단위보다 세밀한 속성 자료를 갖고 있을 경우, 단계구분도는 수치지형도의 공간단위 이내의 분포유형을 표현하지 못하는 한계를 갖는다. 이처럼 수치지형도가 갖는 공간범위의 제한적 문제를 해결하기 위한 방법으로 연속면지도를 제작한다.

연속면 지도는 대상지역을 격자로 분해하고 각 격자에 유형값을 입력하는 방법으로 제작한다. 연속면 지도에서 사용하는 격자의 모형은 정사각형을 사용하며, 각 격자값은 공간사상의 연속적 변화를 표현해 준다. 공간사상의 연속적 변화를 표현해 주는 값을 채택하기 위해서는 연속적인 변화량을 표현해 주는 커널 추정법이나 보간법, 크리깅(Kriging)과 같은 통계기법을 적용한다. 이 때 격자의 크기(해상력)는 공간 단위의 크기와 관련이 있다. 이러한 연속면 제작은 세밀한 정보를 담고 있는 수치지형도에 센서스 자료와 같이 집계된 속성 자료를 표현하는 경우에도 적용된다. 이러한 과정을 통해 말라리아 분포 유형에 대한 연속면 지도를 제작하여 지역적인 분포유형을 보다 자세히 알 수 있다.

(1) 점묘도(Dot Map)

점묘도는 점 데이터를 지도화할 때 가장 일반적으로 사용하는 지도이다. 점묘도에서는 점이 가장 흔히 사용하는 심볼이다. 점 이외에 사각형이나 별 등 다른 종류의 심볼을 사용할 수 있다. 가장 단순한 형태의 점묘도는 각 점에 하나의 질병발생 위치를 표현하는 것이다. 그림 18은 1997년도 말라리아 발생의 위치를 군인을 나타내는 이미지 심볼을 사용하여 점묘도로 나타낸 것으로 말라리아 발생 자료가 갖는 가장 세밀한 단위인 리 단위 자료를 이용하여 생성하였다. 이 연구에서는 점묘도가 커널추정법을 이용한 강도면을 제작하는데 활용함으로써 질병 발생이라는 사건(Event)을 표시하는 것 이상의 이용성을 갖는다.

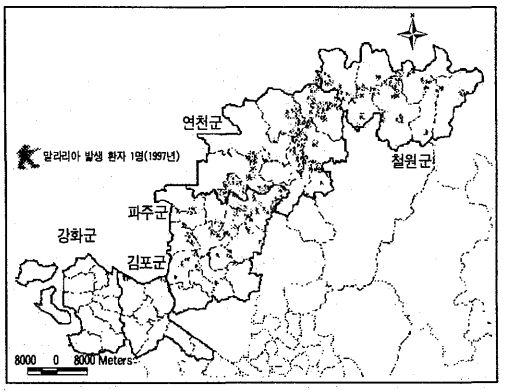

그림 18. 말라리아 발생을 표현한 점묘도 (1997년)

(2) 말라리아 발생 강도면(Intensity Surface)

① 격자 크기 결정

말라리아 발생 점묘도에 사용된 말라리아 발생 자료의 최소 단위는 리 단위이다. 리 단위의 정보를 최대한 활용하기 위해 격자의 크기는 리의 크기를 기초로 작성한다. 이 연구에서는 연속면 지

도를 제작할 때 사용하는 격자의 크기는 평균리의 면적과 동일하게 산정한다. 읍·면 내부의 각 리의 면적은 모두 동일한 것으로 가정한다.

② 강도면 제작

말라리아 발생의 연속적인 변화량을 표현하기 위해서 커널 추정법을 사용한다. 말라리아 발생 강도면에서 말라리아 발생의 분포유형은 북동과 남서 방향으로 긴 띠 모양을 나타낸다. 이는 읍·면 단위의 단계구분도에서는 살펴볼 수 없었던 점이다. 그림 19는 이와 같은 과정을 거쳐 작성된 말라리아 발생 강도면을 나타낸다.

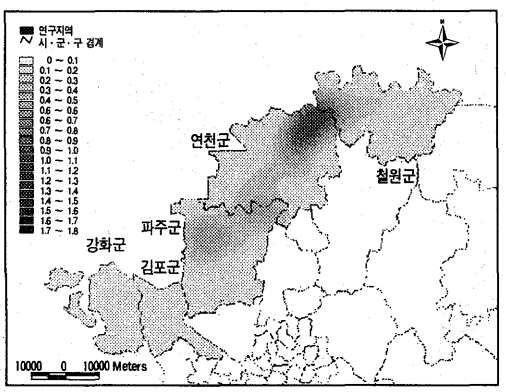

그림 19. 말라리아 발생 강도면

③ 민감도 분석

제작된 말라리아 발생 강도면은 제작 단위인 격자의 크기와 커널의 매개변수(Bandwidth)에 따라 달라질 수 있다. 그림 20·21은 민감도를 분석한 총 50개 읍·면의 결과 중 6개의 읍·면을 선택하여 제시한 것이다. 그림 20은 격자의 크기가 100m, 300m, 500m, 1000m, 2000m, 2500m로 변화하면서 생성된 강도면의 값이 읍·면별로 집계되어 나타나는 변화를 보여주고 있다.

그림 20에서 보는 바와 같이 격자의 크기에 따라 평균 말라리아 발생의 강도수에는 큰 차이를 보이지 않으나 2500m 격자 크기로 제작된 값은 차이를 보이고 있다.

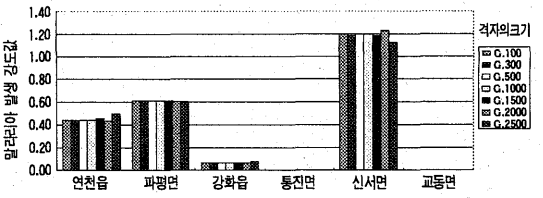

그림 20. 격자 크기의 변화에 따른 격자값의 민감도

그림 21은 커널 밴드의 길이가 1000m에서 10000m까지 1000씩 증가하면서 제작된 말라리아 발생 강도면의 값이 읍·면 단위로 집계되어 나타나는 변화를 보여준다.

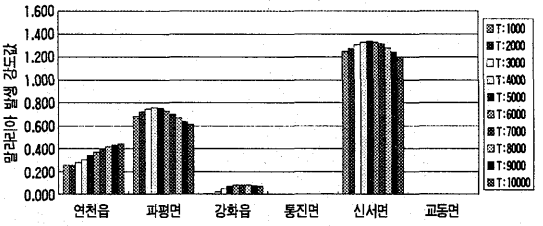

그림 21. 밴드 값의 변화에 따라 나타나는 격지값의 변화

밴드의 길이에 따라 읍·면별로 집계한 값은 규칙적(Systematic)으로 변화하는 경향을 보인다. 이러한 현상은 밴드의 크기에 따라 작성된 연속면에서도 살펴 볼 수 있다(그림 21).

일반적으로 커널 밴드의 크기가 작을수록 평활화의 정도가 약하며(Under-Smooth), 밴드의 크기가 클수록 매우 평활하게(Over-Smooth) 표현된다. 밴드 크기의 조절은 연구의 목적에 맞게 선정한다. 이 연구에서는 적합한 평활화 정도를 나타내는 밴드 크기를 10000m로 정하였다(그림 19). 그림 22는 밴드 크기에 따른 평활화의 변화 양상을 나타낸 것이다.

3) 동화상 지도화(Animated Map)

동화상 지도화는 개별적인 지도로 가시화 되었을 때는 탐색되지 않는 경향이나 변화 양상을 파악하기 위해 사용하는 지도화 기법이다. 이는 시간의 경과에 따라 경향의 변화(그림 23)를 보여주는 것과 비시간적 변인에 의해 초래된 변화 양상

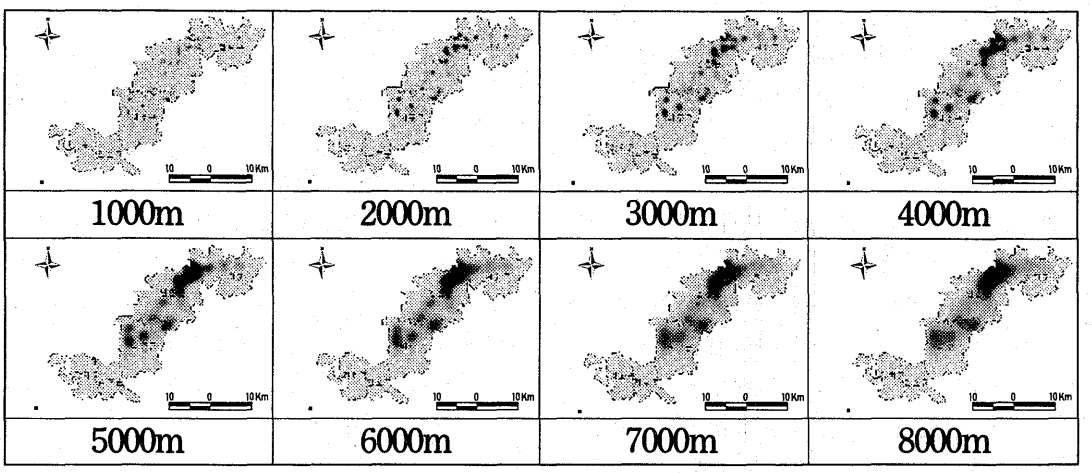

그림 22. 밴드 크기에 따른 평활화의 변화

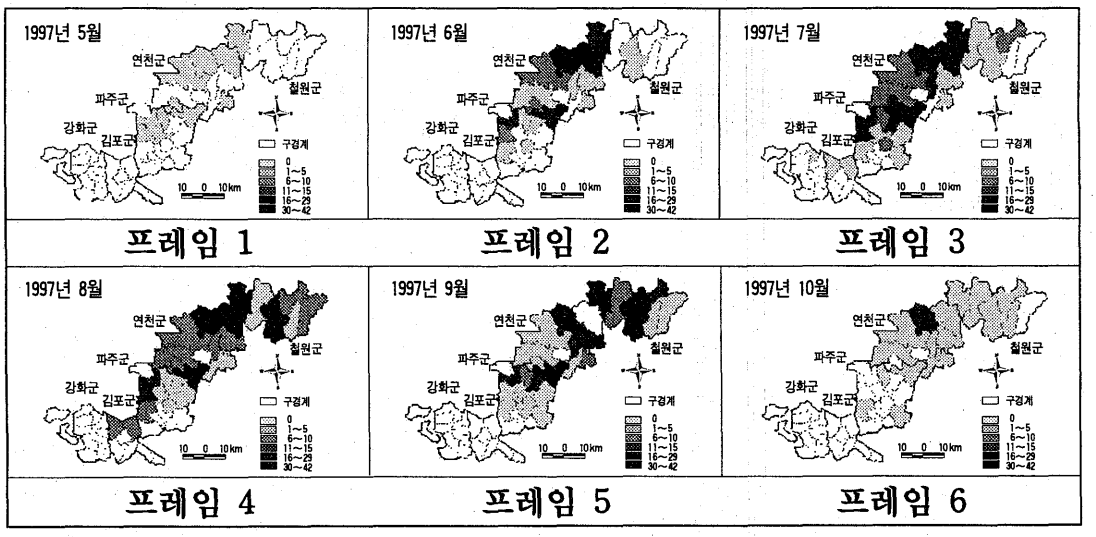

그림 23. 단계구분도로 작성된 말라리아 발생의 동화상 지도

(그림 22)을 가시화하는 지도로 분류할 수 있다. 말라리아 발생과 같이 지속적으로 발생하여 풍토화 조짐을 보이는 질병의 분포 유형을 동화상 지도를 통하여 효율적으로 가시화할 수 있다. 그림 23은 말라리아 발생에 대한 동화상 지도를 제작하기 위해 작성된 각각의 프레임이다.

동화상 지도를 통해 말라리아 발생의 공간적 분포 유형뿐 아니라 시간의 흐름에 따른 변화양상을 효율적으로 파악할 수 있다.

2. 기상요소의 공간 분포

1) 단계구분도

앞에서 IDW방법을 통해 100m의 격자를 기반으로 하는 기상 연속면(그림 11a, b)을 작성하였다. 작성된 연속면을 이용하여 읍·면 단위의 단계구분도를 작성하기 위해서는 Focal 연산 중 FocalMean방법을 이용한다. 이를 이용하여 작성된 기상일수에 대한 단계구분도가 그림 24a, b이다.

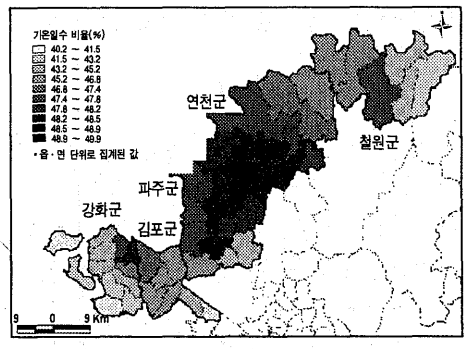

그림 24a. 기온일수비율로 작성한 단계구분도

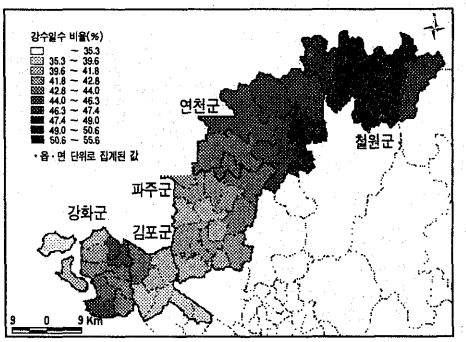

그림 24b. 강수일수비율로 작성한 단계구분도

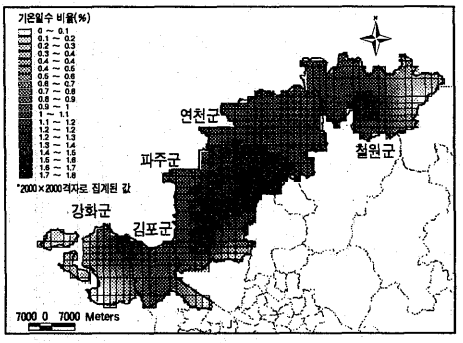

그림 25a. 기온일수비율로 작성된 래스터 자료

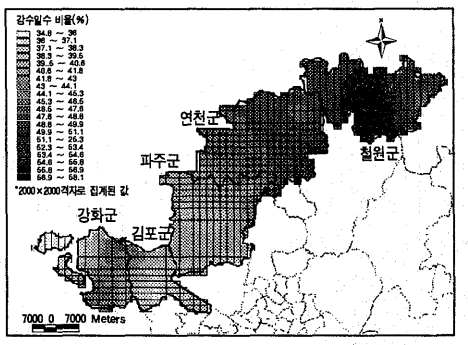

그림 25b. 강수일수비율로 작성된 래스터 자료

그림 24a에서와 같이 기온 일수의 공간적 분포는 연천의 장남면·미산면·전곡읍, 파주의 파평읍·진동면·문산읍에서 높게 나타난다. 작성된 단계구분도를 통해 연구지역의 중앙으로 갈수록 기온일수가 증가하고 연구지역의 외곽으로 갈수록 기온일수가 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 그림 24b에서 보는바와 같이 강수일수의 분포는 철원의 동송읍·갈말읍·김화읍·서면에서 높게 나타난다. 강수일수는 서쪽으로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보인다.

2) 연속면 지도

기상 자료의 연속적인 변화량을 표현하기 위해 IDW방법을 사용하여 연속면을 제작하였다. 그림 25a,b는 2000m×2000m 격자 크기를 갖는 기상 연속면이다.

3. 토지피복 요소의 공간 분포

1) 단계구분도

관목의 비율을 표현한 단계구분도는 해당 읍·면에 포함된 격자의 개수에 대하여 관목에 해당하는 격자의 개수를 계산하여 산출한 값을 이용하여 작성할 수 있다. 이러한 새로운 레이어는 지도 대수(Map Algebra)중 FocalPercentage를 통해 작성한다. 그림 26은 관목의 비율로 생성한 단계구분도이다.

관목의 비율은 위성이미지가 갖고 있던 28.5m의 해상력을 기준으로 하여 해당 읍·면에 해당하는 총 격자의 개수 중에 관목이 차지하는 격자의 수를 표현한 것이다. 연천의 중면·왕징면·백학면·장단면에서 높게 나타나며, 휴전선 일대에서 많이 나타난다. 단계구분도를 이용한 관목의 분포는 말라리아 발생 단계구분도에서 발생수가 높은 지역의 분포와 가장 유사하게 나타난다.

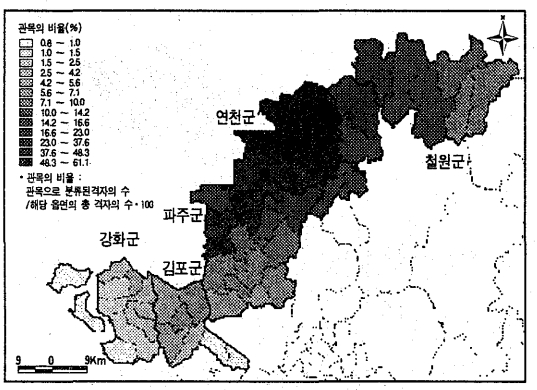

그림 26. 관목의 비율로 작성된 단계구분도

2) 연속면 지도

토지피복 연속면은 Focal 연산을 이용하여 연속적인 변화량으로 표현하였다. 2000m×2000m의 격자 하나는 28.5m×28.5m의 격자를 대략 4925개 포함한다. 기존의 28.5m×28.5m 토지피복 분류 레이어는 2000m×2000m 격자 크기를 갖는 레이어로 변환한다. 이를 위해서 4925개 격자의 개수 중에서 해당 토지피복을 갖는 격자의 개수를 백분율로 표현하여 2000m×2000m격자 하나의 값으로 할당한다. 토지피복 연속면 역시 FocalPercentage방법을 이용한다. 그림 27은 이상과 같은 과정을 거쳐 2000m×2000m 격자로 작성한 토지피복 래스터 자료이다.

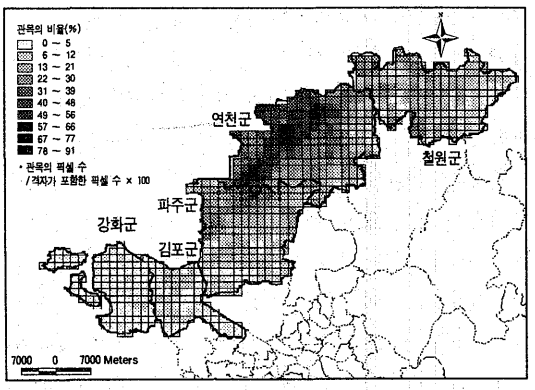

그림 27. 관목의 비율로 작성된 래스터 자료

4. 말라리아 발생과 지리적 요소간의 연관성 분석

앞 절에서는 말라리아 발생의 분포와 지리적 요소의 분포 사이에서 나타나는 유사성을 알아보기 위해 탐색적 공간 분석방법을 사용하였다. 이번 절에서는 이들간의 연관성을 확정적 공간 분석방법을 이용하여 살펴보도록 하겠다.

그림 28은 말라리아 환자 발생에 영향을 미칠 것으로 가정되는 변수들과 그들의 관계이다. 이 연구에서 말라리아 감염은 독립변수가 모기의 행태나 말라리아 원충의 생활환에 영향을 미치며 이들이 다시 말라리아 감염자에 영향을 미치는 과정이라 가정하였다. 이 연구에서는 독립변수를 최적기온일수·강수일수·토지피복으로, 종속변수는 감염자 수라고 정의한다. 분석은 Generalized Linear Model을 이용하였다.

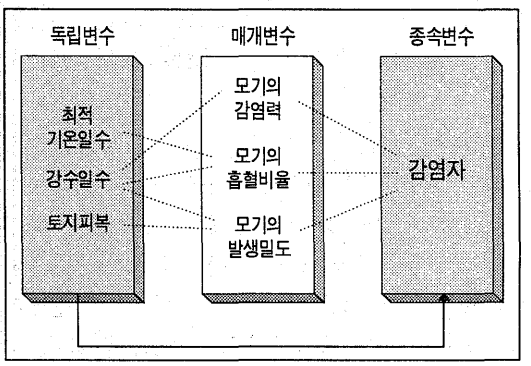

그림 28. 변수간의 관계

표 2는 읍·면 단위로 집계된 말라리아 발생 환자 수와 지리적 요인간의 분석결과를 제시한 표이다.

표 2에서 보는 바와 같이 읍·면 단위로 집계된 자료의 분석 결과, 각 독립 변수들의 설명력(Explanatory Power)은 관목이 약 35%, 논이 약 22%, 강수일수가 약 13%, 최적기온일수와 거주지역이 약 10%의 순으로 나타났다. 논과 거주지는 22%와 10%의 설명력을 보이지만 말라리아 발생

표 2. 말라리아 발생수와 지리적 요인과의 관계

(단위: 읍·면)

		분석 결과				
종속변수(명)	독립변수(%)	결정계수(R^2)	P 값	F 통계량	잔차의 표준오차	피어슨 계수
1997년 읍면별 발병수 (N=50)	최적기온일수	0.10	0.025	5.361	33.74	0.32
	강수일수	0.13	0.010	7.052	33.22	0.36
	관목	0.35	0.6e-5	25.58	28.73	0.59
	거주지역	0.10	0.025	5.335	33.75	-0.82
	논	0.22	0.001	13.23	31.5	-0.46

표 3. 말라리아 발생수와 지리적 요인과의 관계(2000m×2000m)

		분석 결과				
종속변수(명)	독립변수(%)	결정계수(R^2)	P 값	F 통계량	잔차의 표준오차	피어슨 계수
1997년 2000×2000의 격자별 발생수 (N=4925)	최적기온일수	0.16	0	141.2	0.33	0.40
	강수일수	0.03	2.3e-6	22.64	0.35	0.17
	관목	0.10	0	79.96	0.34	0.31
	거주지역	0.01	0.136	2.228	0.36	-0.05
	논	0.07	3.8e-13	54.62	0.34	-0.26

과는 부(負)적 상관관계를 나타낸다. 이는 연구대상이 군인이라는 점에 의해 해석이 가능하다.

관목을 독립변수로 갖는 모델에 질병 발생을 적합시켰을 때 산출되는 잔차를 이용하여 잔차도(Residual Map)를 그린 것이 그림 29이다. 그림 29에서는 푸른 색 ※ 표시가 있는 8개의 읍·면이 기대치($\hat{Y}$)가 실제값(Y)보다 과소 추정되거나 과대 추정된 지역이다. 즉, 모델에 의해 추정된 값이

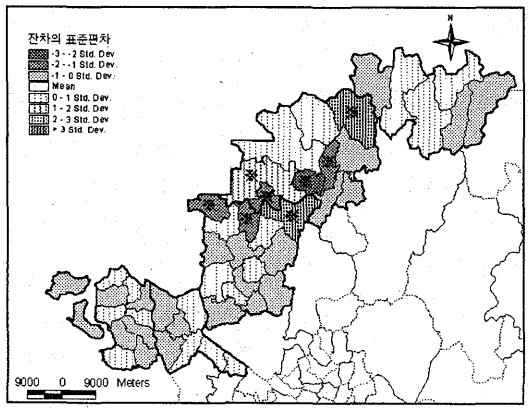

그림 29. 관목 비율에 대한 잔차도

실제 말라리아 발생보다 지나치게 적거나 많은 지역이다. 이러한 지역들은 남서에서 북동으로 연결되는 띠 형태를 보이고 있다. 잔차도를 통하여 파악한 이상지역은 야외조사(Field Survey)와 같은 더욱 세밀한 관찰을 필요로 하는 지역 선정에 도움을 준다.

분석 수준에 따른 스케일 효과는 2000m×2000m를 공간단위로 하는 자료의 분석결과와 읍·면 단위의 자료 분석결과를 비교함으로써 살펴 볼 수 있다.

표 3은 2000m×2000m 격자 크기에서 분석한 결과를 나타낸다.

표 3에서 보는 바와 같이 가장 높은 설명력을 갖는 변수는 최적기온일수로 약 16%의 설명력을 갖는다. 말라리아 발생에 대하여 관목이 10%, 논이 7%, 강수일수가 3%, 거주지역이 1%의 순으로 설명력이 나타나고 있다.

자료의 공간단위가 2000m×2000m일 때, 독립변수를 최적 기온일수로 갖는 모델의 잔차도는 그림 30과 같다. 그림 30에서 파랑색 선으로 표시된 부

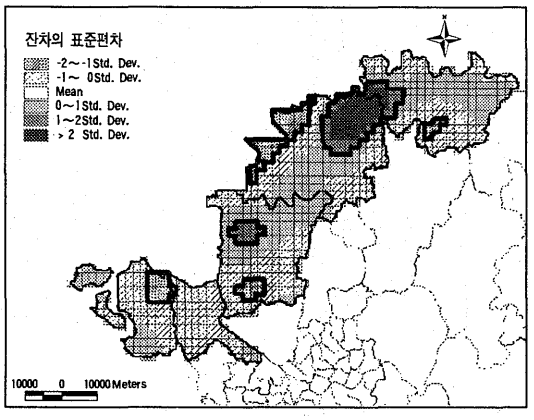

그림 30. 기온일수 비율에 대한 잔차도

분이 실제값보다 과대 추정되거나 과소 추정된 지역이다.

읍·면 단위 분석 결과와 2000m×2000m 격자의 분석 결과는 차이를 보인다. 읍·면 단위에서 설명력이 높게 나타났던 관목이 35%에서 9%로 감소한 반면 최적기온일수는 10%에서 16%로 증가하였다. 설명력이 높게 나왔던 변수가 스케일에 따라 달라지고 있다.

이같은 스케일 효과는 현재 풀리지 않는 숙제로 남아있다. 그러나, 스케일에 따라 달라지는 분석결과가 의사 결정에 결정적인 역할을 한다고 한다면, 이러한 문제를 인식할 필요가 있다. 분석에 있어서 최적(Optimal)의 스케일의 결정은 모기의 반경이나 인간의 행동반경과 같은 변수의 특성이나 연구 대상지역에 따라 달라 질 수 있는 매우 복잡한 문제이다.

Ⅳ. 결 론

말라리아가 전세계적으로 유행(Panepidemic)하고 있던 시기에는 말라리아를 박멸하고자 하는 많은 노력들이 일어났다. 그러나 근 20여 년간 말라리아가 감소하는 경향을 보이자 말라리아 박멸에 관한 관심도 감소하게 되었다. 최근 말라리아가 사라졌던 여러 지역에서 재출현하고 있다. 우리나라도 그러한 국가중의 하나이다.

현재 재발생하고 있는 말라리아에 대한 적절한 관리와 통제를 위해서 국내에서 발생하는 말라리아에 관한 다각적인 연구가 필요하다. 이에 이 연구에서는 기존의 환자의 병력을 조사하던 마이크로 스케일의 연구와 더불어 GIS를 이용한 매크로 스케일의 연구를 수행하였다. 이러한 연구는 말라리아 발생에 영향을 미치는 지리적 요소를 살펴보는 것을 목적으로 한다.

이 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 말라리아 발생에 대한 탐색적·확정적 공간 분석을 통하여 말라리아 발생의 현황뿐 아니라 말라리아 발생의 통제를 위한 기반을 제공하였다. 이는 말라리아 발생에 대한 감시 시스템에 유용하게 사용할 수 있으며, 말라리아 확산을 근절하기 위한 도구로 활용할 수 있다.

둘째, 말라리아 발생에 영향을 미치는 지리적 요소를 기상 요소와 토지피복요소로 정의하여 살펴보았다. 기존의 연구에서 개별적으로 다루어왔던 기상 요소와 토지 피복 요소를 GIS를 이용하여 동시에 고려하였다. 이는 GIS가 갖고 있는 자료처리의 기능을 적극 활용함으로써 가능하였다.

셋째, 기상 요소와 같이 비연속적인 자료는 보간을 통하여 연속적인 자료로 변형하여 분석의 자료로 활용하였다. 말라리아 발생에 영향을 미치는 기상변수들의 영향력을 살피기 위해서 말라리아 환자 감염당시의 기상요소를 파악하는 것은 현실적으로 불가능하다. 이런 경우 말라리아 환자와는 별개로 측정되었지만 말라리아 발생의 위치와 유사한 위치에서 측정되었던 기상자료를 이용함으로써 기상요소가 말라리아 발생에 미치는 영향을 살펴볼 수 있는 가능성에 한 걸음 다가갈 수 있다. 이 연구에서는 연구대상지역에서 측정되는 기상관측점이 18개이며 휴전선 근처로 갈수록 기상 관측치가 더 많이 추정된다는 현실적인 한계가 있다.

넷째, 공간 자료와 속성 자료의 해상력이 동일하지 않을 경우, 세밀한 자료의 형태를 표현할 수

있는 방안을 제시하였다. 이 연구에서는 속성 자료가 지니고 있는 공간단위가 공간 자료의 공간단위보다 세밀하였다. 속성자료가 갖는 세밀한 정보를 최대한 표현하기 위해 말라리아 발생 강도면을 제작하였다. 이 연구에서 최소 단위였던 리(理)의 공간단위에 대한 세밀함을 표현하기 위해서 이러한 방식을 취하였으며 행정경계가 존재하지 않는 촌락단위의 말라리아 발생정보를 표현하기 위해서도 이용할 수 있다.

다섯째, 분석의 단위를 통일하기 위해 해상력이 다른 자료의 형태를 원하는 해상력으로 변형하였다. 이 연구에서는 구축되는 모든 자료들은 각각 그 해상력이 달랐기 때문에 이러한 방법이 필요하다. 즉, 위성이미지의 경우와 같이 28.5m×28.5m의 해상력을 갖고 있지만 실제 분석에 사용할 때는 읍·면 단위 해상력에 맞추어 집계할 필요가 있을 때 유용하다.

여섯째, 말라리아 발생에 영향을 미치는 요소를 읍·면 단위에서 분석한 결과, 관목의 비율이 35%, 강수일수가 13%, 최적 기온일수가 10%의 설명력을 보였다. 논이나 거주지도 22%와 10%의 설명력을 보였으나 이들은 말라리아 발생과는 부(負)의 상관관계를 나타내었다. 또한, 말라리아 발생에 영향을 미치는 요소를 2000m×2000m 격자단위에서 분석한 결과, 최적 기온일수가 16%, 관목의 비율이 10%, 강수일수가 3%의 설명력을 보였다. 논이나 거주지는 읍·면 단위의 분석과 같이 말라리아 발생과 부(負)의 상관관계를 나타내었다.

이 연구에서는 말라리아 발생에 관한 탐색적 공간 분석과 말라리아 발생에 영향을 미치는 위험요소들에 대한 확정적 공간 분석을 수행하였다. 이 연구 결과는 앞으로 말라리아 발생의 위험 지도를 작성하기 위한 기반이 될 수 있다. 위험지도는 말라리아 발생의 위험을 예측할 수 있는 지도로 활용할 수 있다. 위험지도가 구축된다면 말라리아 통제에 보다 효과적인 도구로 사용할 수 있을 것이라 예상한다.

참고문헌

고려대학교 환경의학연구소, 「1997년 7월, 말라리아 역학조사사업」.

김용일, 1991, 「인공위성 원격탐사 데이터의 분석 정확도 향상에 관한 연구」, 서울대학교 박사학위 논문.

Cullen, J.R., 1984, "An epidemiological early warning system for malaria control in northern Thailand", *Bulletin of the world Health Organization*, 62(1), pp.107-114.

Douven W. et al, 1995, "Spatial analysis in health research", in *The added value of Geographical Information Systems in public and environmental Health*, Kluwer Academic Publishers.

Gatrll A.C. et al, 1995, "GIS and Spatial epidemiology : Modelling the possible association between cancer of the larynx and incineration in north-west england", in *The added value of Geographical Information Systems in public and environmental Health*, Kluwer Academic Publishers.

Kitron, U. et al, 1992, "Geographic Information System in malaria surveillance: mosquito breeding and imported cases in Israel", *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 50(5), pp.550-556.

Louisa R.B. et al, 1994, "Remote Sensing As A Landscape Epidemiologic Tool To Identify Villages At High Risk For Malaria Transmission", *The American Society Of Tropical Medicine And Hygene*, pp.271-280.

Macdonald, G., 1957, *The Epidemiology and control of malaria*, London : Oxford UniV.Press, pp. 121-128, 34-43.

Omumbo, J. et al, 1998, "Mapping malaria transmission intensity using geographical information(GIS) : an example from Kenya", *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, Vol. 92, No. 1, pp.7-21.

Washino, R.K.; Wood, B.L., 1994, "Application of remote sensing to arthropod vector surveillance and control". *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 50(6 Suppl), pp.134-144.