한국지도학회지 제7권 제2호 2007 (53 ~ 67)

GIS-기반 대시메트릭 매핑(dasymetric mapping) 기법을 이용한 서울시 인구밀도 분포의 재현

이상일 · 김감영
서울대학교 지리교육과 조교수 · 서울대학교 지리교육과 시간강사

Representing the Population Density Distribution of Seoul Using Dasymetric Mapping Techniques in a GIS Environment

Sang-Il Lee* · Kamyoung Kim**
*Assistant Professor, Department of Geography Education, Seoul National University
*Lecturer, Department of Geography Education, Seoul National University

요 약

본 연구의 주된 목적은 벡터-기반 보조 정보를 사용하는 대시메트릭 매핑의 방법론을 정련화하고, 그것의 GIS-기반 실행 프로그램을 개발하여, 2000년 서울시 인구밀도 분포도 제작에 적용하는 것이다. 대시메트릭 매핑은 해당 변수와 공간적 연관성을 가지는 보조 정보를 사용하여, 해당 변수의 분포 패턴을 보다 정확하게 재현하는 지도화 방식을 의미한다. 즉, 대시메트릭 매핑은 임의적인 공간단위의 데이터를 보조 자료를 이용하여 변환함으로써 기저에 있는 통계적 밀도면(statistical density surface)를 복원하여 제시하는 주제도 제작 기법이다. 중요한 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 보조 정보가 가진 범주의 수와 범주 별 가중치 산출 방식을 모두 포괄하는 다중-클래스 대시메트릭 매핑의 일반식이 도출되었다. 둘째, 기존의 연구들에서 사용된 가중치 부여 방식을 정리하여 '인구 비중법', '표준 밀도법', '회귀분석법'으로 체계화하였다. 셋째, GIS 환경 하에서 대시메트릭 기법이 실행되는 프로그램이 제작되었다. 넷째, 서울의 2000년 522개 동 별 인구 수를 기본 데이터로 하고 벡터-기반의 토지이용현황도를 보조 정보로 하여 세 종류의 대시메트릭 매핑을 실시한 결과 코로플레스 매핑 보다는 기저의 통계적 밀도면을 보다 잘 반영하는 인구밀도 분포도가 제작되었다.

주요어: 대시메트릭 매핑, 에어리얼 인터폴레이션, 지리정보시스템, 코로플레스 매핑, 인구밀도, 면적 가중

Abstract

The main purpose of the research is to refine the dasymetric mapping technique based on vector-based ancillary data, to develop a program implemented in a GIS environment, and to apply the GIS-based dasymetric mapping techniques to population data of Seoul in 2000. Dasymetric mapping can be defined as a mapping technique to represent spatial distribution of a variable under investigation more accurately by utilizing ancillary data whose distribution is associated with that of the given variable. In other words, dasymetric mapping is a procedure of making a thematic map to recover and reveal the underlying statistical density surface by manipulating the data given in an arbitrary zoning system by reference to ancillary data. The main results are as follows. First, a generalized equation for dasymetric mapping was derived, which could be applied to any mapping situations, regardless of the number of categories in ancillary data and of the weighting scheme allocating a weight to each of the categories. Second, three different weighting schemes were identified by critically reviewing the methods presented in previous works: population proportion method, standard density method, and regression method. Third, a GIS-based

program implementing dasymetric mapping techniques was developed. Fourth, population density maps which were believed to be better reflective of the underlying population density surface especially in comparison with choropleth maps were created for Seoul 2000. Those maps were drawn by applying three different dasymetric mapping procedures to the census 2000 population data as source data and a vector-based land use data as ancillary information.

Key words: dasymetric mapping, areal interpolation, GIS, choropleth mapping, population density, areal weighting

I. 서론

사회경제적 데이터의 이용가능성은 최근 급격히 증대되고 있다. 이것은 인터넷이나 데이터베이스 시스템과 같은 물리적 정보 인프라의 성장에 기인한 바 크지만, 그와 동시에 사회경제적 데이터에 대한 관심의 증대와도 밀접히 관련되어 있다. 사회경제적 데이터에 대한 관심과 이용가능성이 증대함에 따라 사회경제적 현상의 재현(representation)이나 통계적 분석과 관련된 다양한 문제점들에 대한 면밀한 검토의 필요성 또한 지속적으로 증대되고 있다. 공적인 자본이 투자되어 구축되는 이러한 사회경제적 데이터는 데이터의 양을 줄이거나 정보 기밀성(confidentiality)을 유지하기 위해 임의적으로 선정된 공간단위로 집계하여 제공되고 있다(Fisher and Langford, 1995). 예를 들어, 대표적인 사회경제적 데이터의 원천으로 간주될 수 있는 센서스 데이터의 경우, 몇몇 마이크로 데이터를 제외하고는 모두 특정한 공표구에 의거해 합산된 형태로 제공되고 있다. 이렇게 공간적으로 집계된(spatially aggregated) 데이터의 통계적 분석과 관련된 문제점들은 '통계적 분석 결과의 공간단위 의존성'을 의미하는 MAUP(modifiable areal unit problem)의 연구에서 꾸준히 다루어져 왔다(Openshaw, 1984; Goodchild and Gopal, 1989; 이상일, 1999). 그러나 공간적으로 합산되어 제공되는 사회경제적 데이터의 재현, 즉 지도화(mapping)에서 발생하는 문제점들은 상대적으로 소홀히 다루어져 온 경향이 있다. 따라서 본 연구는 사회경제적 데이터의 지도학적 재현을 둘러싼 난제와 그것의 해소책에 대한 논의에 초점을 둔다.

사회경제적 데이터가 특정한 공간단위에 의거해 주어진다는 사실은 사회경제적 현상에 대한 지도학적 재현에 심대한 제약이 부과된다는 것을 의미한다. 예를 들어, 인구분포를 시각화하고자 하는 경우, 일반적으로 각 공간단위 내의 인구 수를 공간단위의 면적으로 나눈 인구밀도 값을 산출하고 그것을 코로플레스 매핑(choropleth mapping)[1]을 통해 표현하는 것이 규범화되어 있다. 그런데, 인구밀도 분포를 코로플레스 맵으로 표현하는 것은 인구 분포의 재현에서 심각한 문제점을 야기한다. 우선적으로 코로플레시 맵을 통해 주어지는 공간단위 별 인구밀도 수치는 그 공간단위의 면적에 의존적이다. 즉, 큰 구역은 일반적으로 낮은 인구밀도를 보이며, 작은 구역은 높은 인구밀도를 나타낸다(Langford and Unwin, 1994; Holt et al., 2004). 그러나 인구밀도 분포를 시각화하기 위해 코로플레스 맵을 사용하는 것의 가장 중요한 문제점은 개별 공간단위 내에는 인구 분포의 공간적 변동(spatial variation)이 존재하지 않는다는 불합리한 가정을 하게 된다는 점이다(Langford and Unwin, 1994; Eicher and Brewer, 2001). 기본적으로 공간단위는 인구밀도의 분포 패턴에 대해 독립적으로 주어진 것이기 때문에, 공간단위의 내적 동질성의 정도는 공간단위 마다 다를 수 밖에 없다.

사회경제적 데이터를 코로플레스 매핑을 통해 시각화하는 것의 이러한 문제점을 극복하기 위해 사용되고 있는 것이 대시메트릭 매핑(dasymetric mapping)[2]이다. 대시메트릭 매핑은 해당 변수(예를 들어 인구밀도)와 공간적 연관성을 가지는 보조 정보(ancillary information)(예를 들어 토지 이용 데이터)를 사용하여, 해당 변수의 분포 패턴을 보다 정확하게 재현하는 지도화 방식을 의미한다(Eicher and Brewer, 2001; Slocum et al., 2005; Mennis and Hultgren, 2006). 대시메트릭 매핑 기법의 연원은 18세기까지 거슬러 올라가는 것이지만, 1990년 중반 이후 많은 관심을 받게 된 것은 GIS의 발전과 밀접히 관련되어 있다. GIS가 가지고 있는 데이터 융합 능력과 벡터- 및 래스터-기반 오퍼레이션을 활용함으로써 대시메트릭 매핑의 실행 가능성은 현저히 높아지게 된다(Fotheringham and Rogerson, 1993; Bloom et al., 1996; Fisher and Langford, 1996; Holloway et al., 1997).

본 연구의 목적은 벡터-기반 보조 정보를 활용하는 대시메트릭 매핑의 방법론을 정련화하고, 그것의 GIS-기반 실행 프로그램을 개발하여, 2000년 서울시 인구밀도도 제작에 적용하는 것이다.

II. 대시메트릭 매핑(dasymetric mapping)의 원리

1. 에어리얼 인터폴레이션(areal interpolation)과 대시메트릭 매핑의 개념

일반적으로 대시메트릭 매핑(dasymetric mapping)은 에어리얼 인터폴레이션(areal interpolation)[3]의 한 유형으로 인식되고 있다(Mennis, 2003). 에어리얼 인터폴레이션은 하나의 공간단위 체계로 수집된 통계 정보(소스 데이터)를 그것과 경계 불일치를 보이는 또 다른 공간단위 체계로(타깃 데이터) 전환하는 과정을 의미한다(Goodchild and Lam, 1980). 이러한 에어리얼 인터폴레이션의 필요성은 빈번히 발생한다. 하나는 특정한 공간단위로 합산된 사회경제적 데이터를 또 다른 종류의 공간단위 체계로 전환할 필요가 있는 경우이다. 예를 들어, 우편 구역, 서비스 구역, 선거 구역으로 수집된 다른 사회경제적 데이터나, 지질 구역, 식생 구역, 집수 구역, 고도 구역으로 수집된 자연환경적 데이터를 행정경계를 기반으로 한 공간단위 체계에 맞추어 변환해야 하는 상황이 발생하고 그 역의 상황도 마찬가지이다(Fisher and Langford, 1995; Flowerdew and Green, 1994). 또 다른 경우는 행정 단위 경계가 시간이 지남에 따라 변화하기 때문에 발생하는데(Martin et al., 2002; 오충원, 2002), 시계열 자료에 대해 동일한 공간단위 체계 하에서 변화 경향을 파악할 필요성 역시 빈번이 제기된다(Reibel and Agrawal, 2007).

이러한 에어리얼 인터폴레이션은 다양한 방식으로 발전해 왔는데(Goodchild et al., 1993; Fisher and Langford, 1995; 신정엽, 2004), 크게 '면적 가중(areal weighting) 방법' (Goodchild and Lam, 1980; Goodchild et al., 1993), 'pycnophylactic smoothing 방법' (Tobler, 1979), '센트로이드(centroid)를 이용한 밀도면 생성(density surface creation) 방법' (Martin, 1989; 1996; Martin et al., 2000) 등이 있다. 이 들 중 가장 단순하고 가장 널리 사용되고 있는 것이 면적 가중 방법이다. 일반적으로 에이리얼 인터폴레이션은 인구밀도와 같이 표준화된 값에만 적용될 수 있는 것으로 알려져 있지만, Goodchild and Lam(1980)이 구분한 두 종류의 데이터 모두에 적용 가능하다. 즉, 합계나 빈도처럼 총량으로 표현되는 '공간적으로 외연적인(spatially extensive)' 데이터와, 평균, 비중, 비율과 같이 표준화된 값으로 주어지는 '공간적으로 내포적인(spatial intensive)' 데이터 모두에 적용된다. 전자의 대표적인 예가 인구 수이고 후자의 대표적인 예가 인구밀도이다. 따라서 면적 가중 방법에 대한 수식도 이 두 유형의 공간데이터에 따라 다르게 주어진다(Flowerdew and Green, 1994).

우선 공간적으로 외연적인 변수에 대해서는 다음의 수식이 사용된다.

$$\hat{P}_t = \sum_{s=1}^{k} \left(\frac{A_{ts}}{A_s} P_s \right) \quad (1)$$

여기서, $\hat{P}_t$는 추정된 한 타깃 구역의 인구 수이고, k는 타깃 구역과 겹쳐있는 소스 구역의 수, A_s는 타깃 구역과 겹쳐있는 한 소스 구역 전체의 면적, A_{ts}는 타깃 구역과 한 소스 구역의 중첩 면적, P_s는 타깃 구역과 겹쳐 있는 한 소스 구역 내의 전체 인구 수이다. 이 수식이 의미하는 바는 하나의 타깃 구역에 할당될 인구 수는 그것과 면적을 공유하고 있는 소스 구역들의 인구를 면적 가중 방식을 통해 각각 산출한 후 그것을 합산함으로써 구해진다는 것이다. 그리고 공간적으로 내포적인 변수에 대해서는 다음의 수식이 사용된다.

$$\hat{D}_t = \sum_{s=1}^{k} \left(\frac{A_{ts}}{A_t} D_s \right) \quad (2)$$

여기서, $\hat{D}_t$는 추정된 한 타깃 구역의 인구 밀도이고, A_t는 타깃 구역 전체의 면적이고, D_s는 타깃 구역과 겹쳐있는 한 소스 구역 전체의 인구 밀도이며, 나머지는 식(1)에서 설명된 것과 동일하다. 이 수식이 의미하는 바는 하나의 타깃 구역에 할당될 인구 밀도는 그것과 면적을 공유하고 있는 소스 구역들의 인구 밀도를 타깃 구역 내의 면적을 가중하는 방식으로 각각 산출한 후 그것을 합산함으로써 구해진다는 것이다. 이러한 면적 가중 방법의 한계는 명확하다.

즉, 소스 구역이 내적으로 동일한 분포 밀도를 가지고 있다는, 즉 공간적 변동(spatial variation)이 없다는 가정을 하고 있는 것이다(Fisher and Langford, 1996; Reibel and Bufalino, 2005; Mennis and Hultgren, 2006; Reibel and Agrawal, 2007). 따라서 면적 가중 방법은 단순히 경계가 일치하지 않는 두 구역 체계를 결합하는 방법에 불과하고, 대시메트릭 매핑이 추구하는 보다 정확한 밀도 분포의 재현과는 거리가 멀다.

에어리얼 인터폴레이션과 대시메트릭 매핑은 알려지지 않은 구역의 정보를 추정하려 한다는 점에서는 유사성을 갖지만, 두 기법 사이에는 본질적인 차이가 존재한다. 즉, 전자는 밀도 분포의 재현을 위해 보조 정보를 사용하지 않지만 후자는 적극적으로 사용한다는 것이다(Eicher and Brewer, 2001). 따라서 대시메트릭 매핑은 밀도 분포와 밀접히 관련된 보조 정보를 활용하여 소스 구역 체계를 보다 더 작은 크기의 공간단위로 분할함으로써 구역 내 밀도 분포의 동질성을 더 많이 확보하려는 기법이다(Holt et al., 2004). 그런데 에어리얼 인터폴레이션과 대시메트릭 매핑은 종종 혼동되는 데, 왜냐하면 많은 연구들이 에어리얼 인터폴레이션을 수행할 때 대시메트릭 매핑처럼 보조 정보를 이용하기 때문이다. 이러한 접근을 대시메트릭 에어리얼 인터폴레이션(dasymetric areal interpolation)이라고 부른다(Mennis and Hultgren, 2006; Langford, 2007). 이것은 경계가 일치하지 않는 두 데이터를 결합한다는 에어리얼 인터폴레이션의 목적을 위해 중간 단계로 보조 정보를 이용하는 대시메트릭 매핑 기법을 이용한다. 특히 회귀분석을 이용한 방법이 그러하다(Flowerdew and Green, 1989; 1992; Reibel and Agrawal, 2007). 따라서 대시메트릭 매핑 기법의 발달은 보다 합리적이고 정확한 에어리얼 인터폴레이션 기법을 고안하려는 시도와 밀접히 관련되어 있다. 본 논문에서는 개념적 혼동을 방지한다는 측면에서 대시메트릭 에어리얼 인터폴레이션과 대시메트릭 매핑을 구분하고자 한다. 도식적으로 말하면, 대시메트릭 매핑은 대시메트릭 에어리얼 인터폴레이션에서 타깃 구역에 인구를 할당하기 직전까지 이루어지는, 보조 정보를 활용한 소스 데이터의 전환 과정만을 의미한다.

2. 대시메트릭 매핑의 지도학적 성격

대시메트릭 매핑이라는 용어는 1922년 유럽 러시아(European Russia)의 인구 분포도를 제작한 러시아의 지도학자 Semenov Tian-Shansky에 의해 고안된 것으로 알려져 있으며, J.K. Wright(1936)에 의해 미국에서 널리 퍼지게 되었다고 한다(Mennis and Hultgren, 2006). 그러나 다른 문헌에는 근대 지도학이 성립되던 시기인 18세기 초중반까지 대시메트릭 매핑이 코로플레스 매핑과 더불어 인구 분포를 지도화하는 기법으로 널리 사용되었다고 한다(Eicher and Brewer, 2001). 그러던 것이 1900년 무렵에 이르러 두 지도화 방식은 서로 다른 운명을 맞게 되는데, 코로플레스 매핑은 가장 중요한 주제도 제작 기법으로 성장했지만, 대시메트릭 매핑은 사양길에 접어들어 최근까지 지리학자들에게 조차 알려지지 않게 되었다고 한다(Eicher and Brewer, 2001). 여하튼, 대시메트릭 매핑의 기본적인 아이디어는 근대 지도학이 성립하던 시기에 이미 지도학자들 사이에 널리 공유되고 있었던 것으로 보인다.

대시메트릭 맵의 지도학적 성격을 파악하기 위해서는 MacEachren(1994)의 주제도 유형 분류 도식을 이용하는 것이 도움이 된다(그림 1). MacEachren에 따르면, 지도화되는 공간적 현상은 이산적(discrete)-연속적(continuous) 스펙트럼과 급변적(abrupt)-완변적(smooth) 스펙트럼의 두 축을 따라 분류될 수 있고, 그러한 범주화에 따라 적절한 주제도 양식이 결정될 수 있다고 한다. 역(域)-기반의 데이터에서 이산적 현상이란 앞에서 언급한 '공간적으로 외연적인(spatially extensive)' 변수(예를 들어 인구수)가 보여주는 분포를 의미하고, 연속적 현상이란 '공간적으로 내포적인' 변수(예를 들어 인구 밀도)가 보여주는 분포를 의미한다. 또한 급변적 현상은 분포의 공간적 의존성이 낮은 경우(부(-)적 공간적 자기상관)를, 완변적 현상은 공간적 의존성이 높은 경우(정(+)적 공간적 자기상관)를 의미한다. 이러한 관점에서 보면 대시메트릭 맵은 그림 1의 하단 중앙에 위치한 지도를 의미하는 것으로 코로플레스 맵과 아이소플레스(isopleth) 맵의 중간 형태로 파악된다(Eicher and Brewer, 2001). 사회경제적 현상들이 자연적 현상에 비해서는 공간적 의존성이 떨어지지만 어느 정도의 완변성을 보인다는 점을 감안하면 대시메트릭 맵이 사회경제적 데이터의 공간 분포 양상을 재현하는 가장 효율적인 주제도 유형임을 알 수 있다.

결론적으로, 대시메트릭 매핑은 임의적인 공간단위의 데

이터를 보조 자료를 이용하여 변환함으로써 기저에 있는 통계적 밀도면(statistical density surface)를 복원하여 제시하는 것이다(Mennis and Hultgren, 2006). 코로플레스 맵은 임의적인 센서스 경계를 따라 해당 공간적 현상을 표현하지만, 대시메트릭 맵은 그 현상의 경계를 구성하여 드러낸다(Holt et al., 2004). 특히 인구 밀도와 같은 토대적 현상의 분포를 정확하게 재현하는 것은 다른 사회경제적 변수의 공간적 현상에 대한 모델링을 수행하는데 밑거름을 제공할 수 있다(Holt et al., 2004). 즉, 환경오염원의 영향권 분포(Mennis, 2002), 범죄 분포(Poulsen and Kennedy, 2004), 자연재해 피해 분포(Chen et al., 2004) 등의 재현과 분석을 위한 기준 인구(population at risk)의 분포를 제공할 수 있는 것이다.

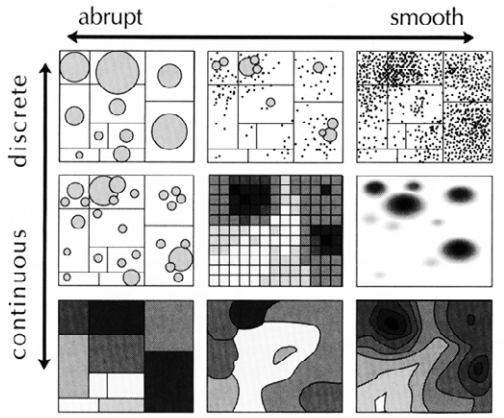

그림 1. 주제도 유형 분류(MacEachren, 1994, p.60, Figure 3.24)

3. 대시메트릭 매핑의 실행 원리

대시메트릭 매핑은 보통 세 가지의 실행 유형으로 구분되는데, 그것은 각각 '바이너리(binary) 방법', '3-클래스(three-class) 방법', '제한 변수(limiting variable) 방법'이다(Eicher and Brewer, 2001; Slocum et al., 2005). 그리고 보조 자료가 벡터-기반인지 래스터-기반인지에 따라 다소 상이한 접근법이 사용되고 있다. Eicher and Brewer(2001)은 세 개의 범주를 가진 벡터-기반 토지 이용 데이터(도시지역, 농경지 및 초지, 삼림지)를 보조 정보로 하여 대시메트릭 매핑의 세 가지 유형을 실험했다. '바이너리 방법'은 토지 분류를 거주가능지(도시지역과 농경지 및 초지)와 비거주가능지(삼림지)의 두 가지로만 구분하고 인구는 오로지 거주가능지에만 분포한다는 가정하에 대시메트릭 매핑을 실행하는 것이다. '3-클래스 방법'은 도시지역, 농경지 및 초지, 삼림지 모두에 인구가 거주한다고 보고 단지 각 토지이용의 범주 별로 인구 비중이 다르다는 전제 하에 대시메트릭 매핑을 실행하는 것이다. 즉, 도시지역에는 70%의 인구가, 농지 및 초지에는 20%의 인구가, 삼림지에는 10%의 인구가 거주한다는 식의 가정을 하는 것이다. 마지막으로 '제한 변수 방법'은 인구 밀도가 높지 않은 토지 이용 범주에 특정한 밀도의 상한선을 설정하고 그 값보다 높은 값을 나타내는 구역의 인구는 다른 토지 이용을 보이는 구역으로 전환하는 방식이다. 인공위성 영상을 이용한 래스터-기반 대시메트릭 매핑에서도 이와 유사한 방식이 사용된다. Langford and Unwin(1994)의 연구는 인공위성 영상으로부터 획득된 그리드 셀 별 토지 이용 상황을 바탕으로 바이너리 대시메트릭 매핑을 수행하는 연구의 전형을 보여주고 있고, Mennis(2003)는 인공위성 영상을 보조 자료로 사용하여 3-클래스 방법을 적용하였다.

토지 이용 범주의 개 수에 구애됨이 없이 토지 이용 데이터를 바탕으로 대시메트릭 매핑을 수행하는 방법, 즉 다중-클래스(multi-class) 대시메트릭 매핑 기법을 정련화하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 일반화된 수식을 제시하고자 한다[4].

$$\hat{P}_{ij} = \frac{w_j A_{ij}}{\sum_{j=1}^{s} w_j A_{ij}} \times P_i \qquad (3)$$

여기서, $\hat{P}_{ij}$는 i지역(주로 센서스 구역) 내에서 j토지 이용 범주에 포함되는 구역에 대한 추정 인구 수를 의미한다. 인구 수는 일반적으로 사용되는 변수일 뿐 공간적으로 외연적인 변수라면 그 어떤 것도 가능하다. w_j는 특정 토지 이용 범주에 대한 가중치로 절대적 혹은 상대적 밀도를 의미하며, A_{ij}는 i지역 내에서 j토지 이용 범주를 보이는 구역의 면적이며, P_i는 i지역 전체의 인구 수이다. 이 수식은 바이너리 방법, 3-클래스 방법을 모두 포괄하는 일반식이다. 더 나아가 래스터-기반 대시메트릭 매핑 상황에도 적용 가능하다. 래스터-기반 보조 자료가 사용된 경우, $\hat{P}_{ij}$는 i지역 내에서 j토지 이용 범주에 포함되는 그리드 셀에 할

당되는 추정 인구 수를 의미하고, A_{ij}는 그리드 셀의 면적을 의미한다. 식(3)에 의해 인구 수가 산출되면, 그 값을 면적으로 나눔으로써 인구밀도에 대한 추정치를 구할 수 있는데, 그것을 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\hat{D}_{ij} = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^{s} w_j A_{ij}} \times P_i \quad (4)$$

식(3)과 (4)에서 중요한 것은 바로 w_j를 추정하는 것이다. 이 값은 토지 이용 범주 각각에 얼마만큼의 가중치를 부여하여 인구 수와 인구 밀도를 추정할 것인지를 결정하기 때문에 전체적인 대시메트릭 매핑의 정확도에 심대한 영향을 끼치게 된다. 이 가중치를 결정하는 데는 세 가지 방법이 존재한다.

첫째, '인구 비중법(population proportion method)'이다. 이것은 선험적인 혹은 경험적인 자료를 바탕으로 전체 인구의 어느 정도가 각 토지 이용 구역에 분포하고 있는지를 결정하는 방식이다. 위에서 살펴 본 것처럼, Eicher and Brewer(2001)의 3-클래스 방법에서 각 토지 이용 구역에 대해 0.7, 0.2, 0.1의 비중값을 부여하였다. 이 방법에 의하면 식(3)에서 곱하기 부호 앞 부분 전체가 이 비중값을 의미하게 된다. 이 방법의 결정적인 단점은 특정 구역의 인구밀도가 비이상적으로 높게 산출될 수 있다는 것이다. 예를 들어 도시지역의 면적이 매우 작은 센서스 구역의 경우, 그 구역 내 인구의 70%가 도시지역에 할당되기 때문에 그 구역의 인구밀도는 비이상적으로 높게 산출되게 된다.

둘째, '표준 밀도법(standard density method)'이다. 이것은 선험적인 혹은 경험적인 자료를 바탕으로 각 토지 이용 구역에 대해 표준 인구밀도를 산출하고, 모든 토지 이용 지역의 표준 인구밀도의 총합에 대한 비율을 계산함으로써 가중치를 산출하는 방식이다. Holloway et al.(1997)은 선험적인 방식을 통해 도시지역에 0.8, 농경지에 0.05, 개방지에 0.1, 삼림지에 0.05의 표준 밀도값을 할당하였다. Mennis and Hultgren(2006)은 토대가 되는 센서스 구역 데이터를 이용하여 토지 이용 범주 별 표준 인구밀도를 산출하는 방법을 제안하였다. 각 토지 이용 범주에 대해, 그 토지 이용 범주가 전형적으로 드러나는 센서스 구역을 표집하여 인구 수와 면적을 합산하여 표준 인구밀도를 산출한다. Maantay et al.(2007)은 Mennis and Hultgren의 이러한 방법을 '발견적 표집법(heuristic sampling method)'이라고 부른바 있다. 전형적인 센서스 구역의 표집을 위해 완전포괄(containment), 센토로이드 포함(centroid), 비중 우위(percent cover) 등의 방법을 사용할 수 있다(Mennis and Hultgren, 2006). 모든 토지 이용 범주에 대해 이러한 표준 인구밀도가 산출되면, 그것을 모두 합산하고 그 총합으로 각 토지 이용 범주 별 표준 인구밀도를 나누면 각 토지 이용 범주 별로 일종의 밀도비를 구할 수 있고 이것을 가중치로 사용할 수 있다. 이러한 과정은 가중치의 합이 1이 되도록 하기 위한 조치로, 추정된 인구 수의 합은 원 자료의 총 인구와 동일해야 한다는 'pycnophylactic property'(Fisher and Langford, 1995)를 만족시키기 위한 필수적인 과정이다.

셋째, '회귀분석법(regression method)'이다. 이것은 대시메트릭 에어리얼 인터폴레이션에서 널리 사용되고 있는 방법인데, 가중치 산출을 위한 하나의 대안으로 제시될 수 있다. 각 센서스 구역의 인구를 종속변수로 두고 거주 가능 토지 이용 범주 별 면적을 독립변수로 하여 상수항이 없는 OLS 회귀분석(Reibel and Agrawal, 2007)이나 포아송 회귀분석(Flowerdew and Green 1989; Flowerdew et al., 1991; Yuan et al., 1997)을 실시하면 회귀계수를 얻을 수 있고 그것의 상대적 값을 가중치로 사용할 수 있다. OLS 회귀분석의 경우, 회귀분석의 결과 산출되는 회귀계수는 각 토지 이용 범주의 평균 밀도값을 의미한다. 따라서 표준 밀도법과 마찬가지로 회귀계수를 모두 합한 값으로 각 토지 이용 범주 별 회귀계수를 나누면 가중치를 구할 수 있게 된다. 특정 토지 이용 범주를 가진 래스터-기반 데이터를 사용할 경우, 각 셀의 면적과 그 셀의 토지이용에 대한 회귀계수를 곱하면 각 셀의 인구 수를 산출할 수 있다. 그러나 앞에서 언급한 pycnophylactic property를 만족시키기 위해서는 각 셀을 포함하고 있는 센서스 구역의 총인구를 회귀식에 의해 추정된 인구수로 나눈 값을 각 셀의 인구 수에 곱해주어야만 한다(Flowerdew and Green, 1992; Reibel and Agrawal, 2007). Fisher and Langford(1995)는 5개의 토지이용 범주를 모두 독립변수로 사용하는 '샷건(shotgun)' 모델, 고밀도 및 저밀도 주거지역만을 사용하는 '초점(focused)' 모델, 모든 주거지역을 하나로 통합하여 독립변수로 사용하는 '단순(simple)' 모델을 비교하였다. Flowerdew and Green(1989)은 단순 모델이 더 낫다고 주장하였지만, Fisher and Langford(1995)

는 그러한 증거는 없다고 보고하고 있다.

대시메트릭 매핑을 위한 보조 정보로 반드시 토지 이용 데이터를 사용할 필요는 없다. 예를 들어 Xie(1995)와 Reibel and Bufalino(2005)는 도로망 데이터를 사용한다. 또한 Maantay et al.(2007)은 지적 데이터를, Wu et al.(2006)은 이미지 텍스처 통계량(image texture statistics)을 보조 정보로 사용한다. 다양한 종류의 보조 정보를 이용함으로써 대시메트릭 매핑의 정확성은 향상될 수 있다.

III. 대시메트릭 매핑을 이용한 2000년 서울시 인구밀도 분포의 시각화

1. 분석 방법 및 실행 소프트웨어의 개발

대시메트릭 맵 작성을 위한 기본 인구 자료로 2000년 서울시 522개 동 별 센서스 자료를, 보조 정보로는 국토지리정보원에서 제작한 토지이용현황도(1999)를 활용하였다. 표 1은 토지이용현황도의 토지이용 분류 체계를 보여주고 있고, 그림 2는 이에 따른 서울시의 토지 이용 분류도이다.

이러한 데이터를 바탕으로 식(3)과 식(4)를 이용하여 모두 세 가지 대시메트릭 매핑을 실시하였다. 첫째, 대분류 상의 '도시 및 주거지'를 거주가능지로 하고 나머지를 비거주가능지로 하여 바이너리 방법을 적용하였다. 둘째, '도시 및 주거지'의 하위 토지 이용 분류 중 '일반주택지', '고층주택지', '공업지', '기타도시지역'의 4개 범주를 추출하고, 이에 대한 다중-클래스 대시메트릭 매핑을 실시하였다. 이 때 가중치 산정을 위해 표준 밀도법이 사용되었다. 셋째, 위와 동일한 조건하에서, 회귀분석법을 가중치 산정 방법으로 사용하여 대시메트릭 매핑을 실시하였다. 넷째, 이렇게 도출된 3가지 대시메트릭 맵을 보다 정밀하게 비교하기 위해 에어리얼 인터폴레이션을 적용하여 그리드 맵을 제작한 후 일종의 밀도차 지도를 생성하였다.

모든 대시메트릭 매핑은 ESRI ArcGIS 9.2를 이용한 GIS환경에서 수행되었다. 수행 소프트웨어는 VBA(Visual

표 1. 토지특성도의 토지이용 분류 체계

대분류	중분류	소분류
농지	논	경지정리답
		미경지정리답
	밭	보통 · 특수작물
		과수원 기타
임지	초지	자연초지
		인공초지
	임목지	침엽수림
		활엽수림
		혼합수림
	기타	골프장
		공원묘지
		유원지
		암벽 및 석산
도시 및 주거지	주거지 및 상업	일반주택지
		고층주택지
		상업 · 업무지
		나대지 및 인공녹지
	교통시설	도로
		철로 및 주변지역
	공업지	공업시설
		공업나지 및 기타
	공공시설물	발전시설
		처리장
		교육 및 군사시설
		공공용지
	기타시설	매립지
		가축사육시설
수계	하천	하천
	호소	호와 소

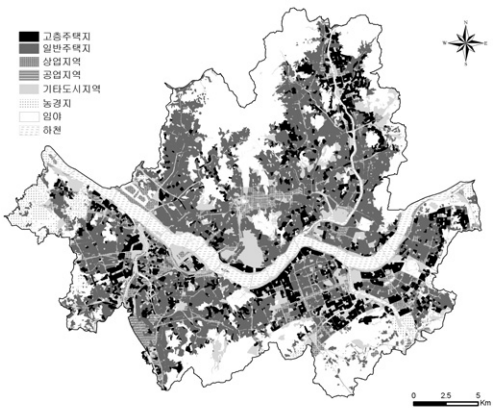

그림 2. 서울시 토지이용 분류도(1999년)

Basic for Applications)로 작성되었다. 대시메트릭 매핑과 에이리얼 인터폴레이션 과정에서는 GIS의 기하학 연산 기능, 구체적으로 중첩기능이 핵심적인 역할을 담당한다. 이러한 절차를 수행하는 인터페이스 및 기능은 DLL(dynamic link library)의 형태로 ArcGIS에 등록하여 사용 가능하다. 그림 3은 ArcGIS에서 호출한 대시메트릭 매핑의 인터페이스로, 소스 자료, 토지 이용 정보, 가중치 부여 방식 등을 사용자가 선택하고 조정할 수 있다.

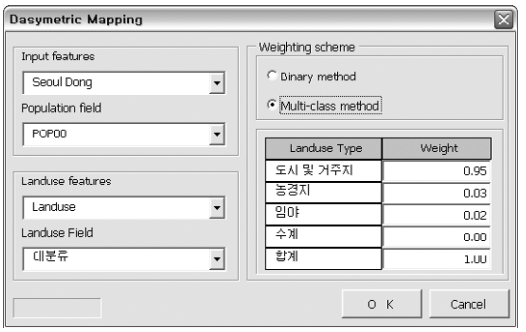

그림 3. 대시메트릭 매핑 인터페이스(ArcGIS)

2. 연구 결과

1) 동 별 인구밀도 분포

그림 4는 인구밀도 분포의 재현을 위해 일반적으로 사용되는 센서스 구역 별 코로플레스 맵을 나타낸 것이다. 코로플레스 맵의 경우, 각 단위지역(동) 내에 인구가 균등하게 분포한다는 것을 가정한 상태에서 공간단위 전체가 동일한 계급의 주제 심볼(thematic symbol)을 할당 받는 방식으로 제작된다. 2000년 서울시 전체의 인구밀도는 16,303명/㎢ 이다. 그러나 이 값은 그림 2에 나타난 토지 이용 상황을 고려하지 않은 채, 즉 비거주가능지를 모두 포함하여 계산된 값이기 때문에 서울시 전체의 실질적인 인구밀도를 요약하지 못한다. 또한 각 동 별로 토지 이용 구성이 상이하기 때문에 기저에 있는 인구밀도면에 대한 정확한 재현으로 보기 어렵다. 이러한 제한점을 극복하는 하나의 방법이 토지 이용 정보를 바탕으로 대시메트릭 매핑을 실시하는 것이다.

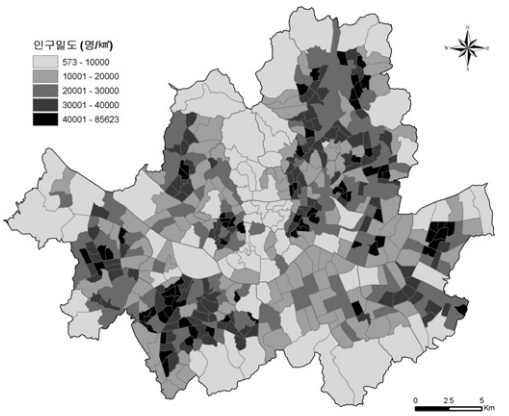

그림 4. 서울시 동 별 인구밀도에 대한 코로플레스 맵(2000년)

2) 바이너리 대시메트릭 매핑

토지이용현황도의 대분류 중 '도시 및 주거지' 범주를 거주가능지로 간주하고 나머지 범주를 비거주가능지로 간주하여 대시메트릭 매핑을 수행하였다. 이 경우 전자는 1의 가중치를, 후자는 0의 가중치를 갖게 된다. 동 별 행정구역 데이터와 토지특성도를 중첩한 후 동의 인구를 동의 '도시 및 주거지' 범주에만 할당한다. 그림 5는 바이너리 대시메트릭 매핑의 결과를 보여주고 있다. 도시 및 주거지만을 고려한 경우 서울 전체의 인구밀도는 26,030명/㎢으로, 앞의 경우와 비교하면 약 10,000여명/㎢이 증가한 수치이다. 그림 5를 그림 4와 비교해 보면, 서울시 인구밀도 분포가 거주가능지로 분류된 토지 이용 구역으로 한정되어 표현되어 있음을 관찰할 수 있다. 따라서 인구밀도가 0인 지역들이 전 지역에 걸쳐 나타나게 된다. 그러나 최고 인구밀도 값에서는 별 차이가 나타나지 않는다. 또한 동 전체가 거주가능지로 분류된 곳에서는 여전히 동의 경계가 인구밀도 분포의 경계로 기능하고 있음을 확인할 수 있다.

이 바이너리 방법은 '도시 및 주거지' 범주에 속하는 지역에 인구가 균등하게 분포한다는 가정 하에 대시메트릭 매핑을 시행하는 것이다. 그러나 표 1에서 보는 것처럼, '도시 및 주거지' 범주는 다양한 하위 범주를 포함하고, 각 하위 범주 별로 인구분포의 조건이 상이하다. 따라서 도시 및 거주지의 하위 범주 별로 상이한 가중치를 부여하여 인구를 할당하는 대시메트릭 매핑 기법을 살펴볼 필요가 있다.

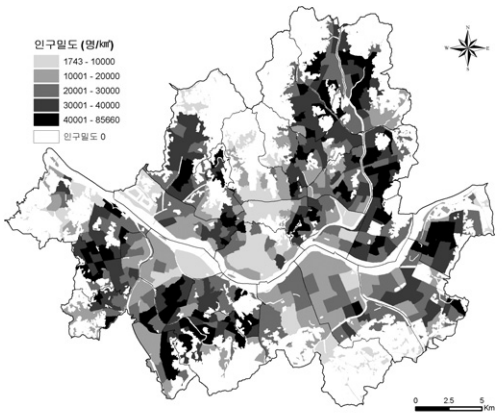

그림 5. 바이너리 방법에 의한 대시메트릭 맵(2000년)

3) 다중-클래스 대시메트릭 매핑

대분류 항목인 '도시 및 거주지'의 하위 토지 이용 분류 중 '일반주택지', '고층주택지', '공업지', '기타도시지역'의 4개 범주를 추출하였다. 여기서 '일반주택지'와 '고층주택지'는 소분류 항목이고, '공업지'는 중분류 항목, '기타도시지역'은 두 가지 소분류 항목(상업 · 업무지, 나대지 및 인공녹지)과 세 가지 중분류 항목(공업지, 공공시설물, 기타시설)을 합한 것이다. 이렇게 항목의 수준이 상이한 것을 동시에 고려한 것은 '일반주택지'와 '고층주택지'를 구분하는 것이 중분류 만으로 구분하는 것보다 더 정확한 인구밀도 분포의 재현을 가능하게 할 것으로 판단하였기 때문이다.

토지 이용 범주 별 가중치를 산출하기 위해, 표준 밀도법(standard method)과 회귀분석법(regression method)이 각각 적용되었다. 표준 밀도법에 기반한 가중치를 산출을 위해, 우선 4가지 토지 이용 범주를 전형적으로 보여주는 동을 10개씩 표집하여, 그 인구수와 면적을 합산하고, 합산된 총 인구 수를 총 면적으로 나눔으로 토지 이용 범주 별 표준 인구밀도를 계산하였다(표 2). 여기에서 일반거주지가 고층거주지의 가중치 보다 높게 나온 것은 이 표준 밀도법의 한계와 관련되어 있는 것으로 판단된다. 즉, 각 토지 이용 범주 별로 동 전체의 인구와 면적을 고려하는 방식을 취하기 때문에, 고층거주지가 전형적으로 드러나는 동이 일반거주지가 전형적으로 드러나는 동에 비해 평균 인구밀도가 낮게 산출될 수 있는 것이다. 다시 말하면, 거주지 자체의 인구 밀도는 고층거주지가 일반거주지에 비해 높겠지만, 고층거주지가 전형적으로 드러나는 동이 일반거주지가 전형적으로 드러나는 동에 비해 비거주가능지나 낮은 인구밀도를 보여주는 토지 이용 범주의 비중이 높다면 전체적인 평균 인구밀도는 낮게 산정될 수 있는 것이다.

표 2. 표준 밀도법에 의한 토지 이용 범주 별 가중치의 산출

토지 이용 범주	표준 인구밀도(명/㎢)	가중치
일반거주지	43,190	0.42
고층거주지	37,909	0.37
공업지	16,857	0.16
기타도시지역	5,404	0.05
합계	103,361	1.00

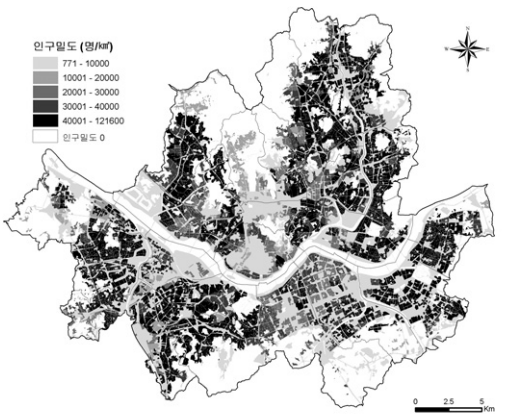

그림 6. 표준 밀도법에 의한 대시메트릭 맵(2000년)

그림 6은 표준 밀도법에 의해 제작된 대시메트릭 맵을 보여주고 있다. 그림 6을 그림 5와 비교해 보면, 우선 인구밀도의 최대값이 매우 높아졌음을 알 수 있다. 또한 교통로와 관련된 지역의 인구밀도가 보다 상세하게 표현된 것을 확인할 수 있다. 따라서 더 이상 동 경계가 인구밀도 분포의 경계선 역할을 하지는 못한다.

표 3은 회귀분석법에 의거해 산정된 토지 이용 범주 별 가중치를 보여주고 있다. 이 결과는 각 동의 인구 수를 종속변수로 두고 네 가지 토지 이용 범주의 면적을 독립변수로 하여 시행된 OLS 회귀분석에 기반을 두고 있다. 이 회귀분석법에 의해 산출된 가중치는 표 2에 제시되어 있는 표준 밀도법에 따른 가중치에 비해 보다 현실성이 높은 것으

표 3. 회귀분석법에 의한 토지 이용 범주 별 가중치의 산출

토지 이용 범주	회귀계수 인구밀도(명/㎢)	가중치
일반거주지	42,453	0.38
고층거주지	62,730	0.56
공업지	6,206	0.05
기타도시지역	-1,044	0.01
합계	111,389	1.00

주: 인구밀도의 합계는 기타도시지역의 회귀계수를 제외한 나머지 3개 토지 이용 범주의 회귀계수를 합한 값이며, 기타도시지역의 회귀 계수가 음수 값을 가지지만 매우 작은 가중치를 부여하였음.

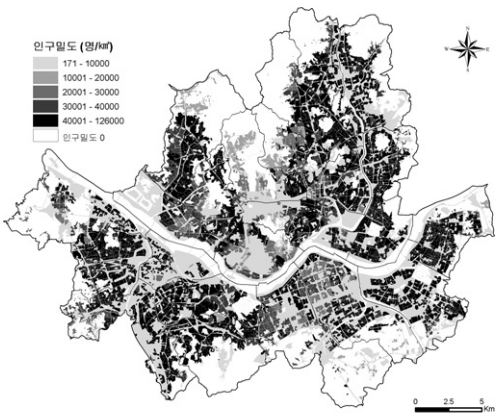

그림 7. 회귀분석법에 의한 대시메트릭 맵(2000년)

로 판단된다. 즉, 고층거주지에 대한 가중치(0.56)가 일반거주지에 대한 가중치(0.38)에 비해 높게 산출되었을 뿐만 아니라, 공업지에 대한 가중치(0.05) 역시 상대적으로 낮게 추정되었다.

그림 7은 회귀분석법에 의해 제작된 대시메트릭 맵이다. 그림 7과 그림 6을 비교해 보면 큰 차이점을 두드러지지 않지만, 고층 아파트가 집중된 지역의 인구 밀도 클래스가 높게 나타난 특징은 찾을 수 있다. 그림 6과 그림 7의 차이는 다음의 분석에서 보다 뚜렷하게 나타날 것이다.

4) 대시메트릭 에어리얼 인터폴레이션을 이용한 대시메트릭 매핑 기법의 비교

보다 표준화된, 완변적인 인구밀도 분포 패턴을 도출하기 위해 서울시 전체에 대해 100m-by-100m 그리드 폴리곤을 생성하고 식(1)과 식(2)에 제시된 에어리얼 인터폴레이션 방법을 이용하여 일종의 그리드 맵을 작성하였다. 이것은 그림 1에 나타난 MacEachren의 주제도 유형 분류법에 따르면 정 가운데에 위치해 있는 코로다트(chorodot) 맵과 유사한 것이다. 이렇게 대시메트릭 에어리얼 인터폴레이션을 통해 제작된 그리드 맵은 다른 현상의 분포 패턴을 분석하는 데 하나의 기저 분포로 제공될 수 있다. 예를 들어 범죄 발생 지점이나 유병 인구의 분포에 대한 점형 데이터를 가지고 그것의 발생에 대한 통계학적 모델링을 수행할 때, 이러한 지도는 중요한 토대 데이터의 구실을 할 수 있다. 또한 그리드 폴리곤을 통해 재현함으로써 래스터-기반 데이터와의 호환성도 증대된다.

이러한 대시메트릭 에어리얼 인터폴레이션은 그림 5~7에 나타나 있는 세 가지 대시메트릭 맵 뿐만 아니라 그림 4에 나타나 있는 행정구역-기반 코로플레스 맵에도 적용되었다(그림 8 (가)). 각 대시메트릭 기법 간 차이를 살펴보기 위해, 세 가지 대시메트릭 기법에 대한 그리드 맵으로부터 코로플레스 맵에 적용된 그리드 맵을 차감하여 일종의 인구밀도 차이 맵을 생성하였다(그림 8 (나)~(라)). 세 가지 방법 모두 거주가능지와 비거주가능지의 경계 부근에서 높은 인구밀도 차를 보여주고 있다. 이것은 하나의 행정구역 속에 비거주가능지가 많이 포함되어 있는 경우, 그 인구가 대시메트릭 매핑을 통해 거주가능지로 옮겨 가기 때문에 발생하는 자연스러운 현상이다. 또한, 바이너리 방법, 표준밀도법, 회귀분석법으로 갈수록 30,000명/㎢ 이상 인구밀도가 높게 추정된 지역이 많아지고 있음을 확인할 수 있는데, 이것은 각 대시메트릭 매핑 기법의 특성을 잘 보여주고 있다.

즉, 바이너리 방법은 대분류인 '도시 및 주거지' 내의 인구밀도가 균등하다는 가정 하에서 수행되는 것이기 때문에 행정구역-기반 그리드 맵에 비해 훨씬 더 높은 인구밀도를 보이는 그리드 셀의 수가 많지 않지만, 표준 밀도법이나 회귀분석법에서는 세부적인 토지 이용 상황 별로 차등적인 가중치가 적용되기 때문에 높은 인구밀도 차를 보이는 그리드 셀의 숫자가 많을 수 밖에 없다. 또한, 회귀분석법에서는 표준밀도법에서 보다 고층거주지에 훨씬 더 높은 가중치가 주어지고, 다른 토지 이용 구역에 비해 고층거주지와 일반거주지를 합한 전체 거주지에 더 높은 가중치가 주어졌기 때문에, 특정 거주 구역에 더 높은 인구밀도가 산출

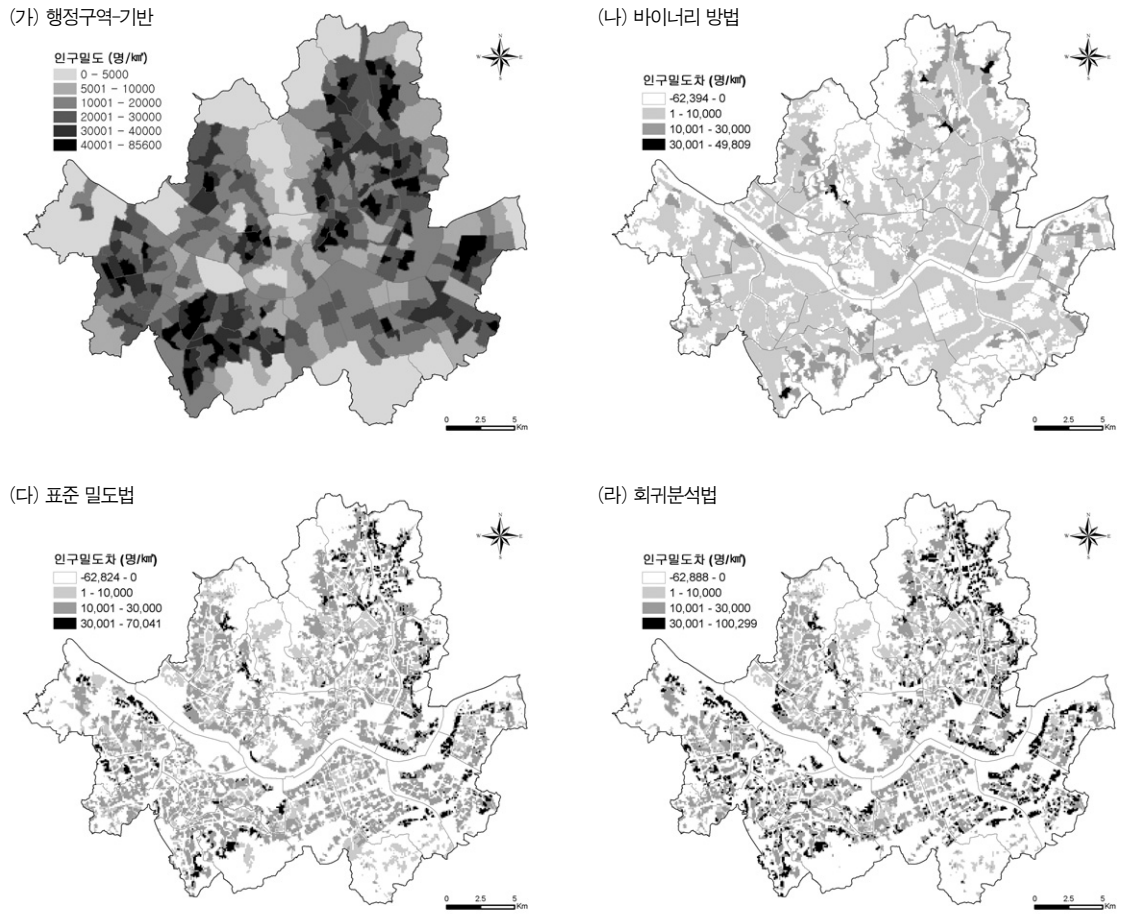

그림 8. 대시메트릭 에어리얼 인터폴레이션을 이용한 대시메트릭 매핑 기법의 비교

될 가능성이 높아지게 되는 것이다.

IV. 결론

본 연구는 대시메트릭 매핑의 원리를 에어리얼 인터폴레이션과의 관계와 지도학적 성격을 규명함으로써 살펴보았다. 또한 기존 연구를 검토함으로써 대시메트릭 매핑의 실행 원리에 대한 정련화를 시도하였다. 이를 통해 다중-클래스 대시메트릭 매핑을 위한 일반식이 구성되었으며, 다양한 가중치 산출 방법이 그 속에서 통합될 수 있음을 보여주었다.

확립된 연구틀에 대한 GIS-기반 실행 프로그램을 개발하였으며, 이를 2000년 서울시 인구밀도 분포도 제작에 적용하였다. 바이너리 방법과 두 가지 가중치 부여 방식에 따른 다중-클래스 방법을 적용하여 세 종류의 대시메트릭 맵을 제작하였다. 대시메트릭 맵을 바탕으로 그리드 폴리곤을 이용한 에어리얼 인터폴레이션을 적용한 후, 일종의 인구밀도 차이 맵을 생성함으로써 대시메트릭 매핑 기법 간의 차이를 보다 명확히 하였다.

본 연구의 가장 큰 한계는 에러 검정을 실시하지 못했다는 점이다. 이것은 행정동보다 면적인 작은 공간단위에 대

한 인구 수 데이터를 구득할 수 없기 때문이다. 소지역 통계에 대한 이용가능성이 증대된다면, 에러 검토(Fisher and Langford, 1996; Eicher and Brewer, 2001; Jun, 2006; Langford, 2006; Mennis and Hultgren, 2006)나 이를 바탕으로 한 상이한 모델들 간의 비교 검토(Fisher and Langford, 1995; Hawley and Moellering, 2005; Arntz and Wilke, 2007)가 가능해 질 것이다.

향후 연구 과제로 세 가지를 제시할 수 있다. 하나는 인공 위성 영상을 바탕으로 본 연구에서 제시된 다중-클래스 대시메트릭 매핑의 틀을 래스터 상황으로 확장하는 것이다. 이를 통해 2000년 이전과 이후의 시점에 대한 서울시 인구밀도 분포도를 제작할 수 있을 것이다. 본 연구에서 2005년 인구를 선택하지 않은 가장 중요한 이유가 2000년대 중반에 제작된 토지이용현황도가 존재하지 않기 때문인데, 적절한 벡터-기반 보조 정보가 존재하지 않는 경우 인공 위성 영상이 대안이 될 수 있다. 두 번째 연구 과제는 다른 보조 정보를 사용하여 대시메트릭 매핑을 시행하고 토지 이용 정보를 이용하는 경우와 비교하는 것이다. 도로망 밀도를 그리드 셀 별로 계산하고 그것을 보조 정보로 이용하는 방법도 하나의 대안이 될 수 있을 것이다. 셋째, 가중치 산출법에 대한 새로운 대안을 모색한다. 본 연구에서 제시한 인구 비중법, 표준 밀도법, 회귀분석법 외에 또 다른 가능성을 타진하는 것 역시 중요한 연구 과제가 될 것이다.

사회경제적 데이터의 이용가능성 증대와 GIS라고 하는 지도화 소프트웨어의 보급으로 말미암아 사회경제적 현상의 지리적 재현의 편이성은 급격히 신장되어 왔다. 이것은 많은 사람이 자신만의 주제도를 손쉽게 제작할 수 있는 환경이 조성되었다는 것을 의미하기도 하지만, 잘못된 지도가 매우 쉽게 생산되고 보급될 수 있는 가능성도 급격히 높아졌다는 것을 의미한다. 이것이 지도 제작의 자유가 엄청나게 고양된 이 시점에서 아이러니하게도 지도제작의 근본 원리와 규범을 더욱 더 확고히 해야 하는 이유이다. 보다 더 정련화된 대시메트릭 기법의 개발과 그것을 통한 보다 정확한 밀도 분포의 재현은 현재 지도학계와 지리학계가 수행해야 하는 중대한 과제 중의 하나인 것이다.

註

1) Choropleth map은 일반적으로 '단계구분도'로 번역되지만, 본 연구자는 그 번역어의 적절성에 의구심을 갖고 있다. Dent(1999)에 따르면 choropleth라는 단어는 그리스어에서 장소(place)를 의미하는 choros와 값(value)을 의미하는 pleth의 합성어이다. 따라서 choropleth라는 단어 속에는 단계구분이라는 의미가 전혀 담겨 있지 않다. 또한 많은 다른 주제도 유형들 역시 단계 구분을 행하기 때문에(급간을 이용하는 도형표현도 등) 이 번역어를 지속적으로 사용할지에 대한 고민을 심각하게 해 볼 필요가 있다. 본 연구자는 '등급역도(等級域圖)'를 하나의 대안으로 제안하고 싶은데, 본 논문에서는 원어를 그대로 읽어 사용하도록 한다.

2) Dasymetric mapping에 대한 번역어로 '밀도구분도'라는 용어가 사용되고 있다(이희연, 1995). 본 연구자는 이 번역어가 대시메트릭 매핑의 본질을 묘사하는데 다소간의 부족함이 있다고 생각한다. 따라서 본 연구자는 '등밀역도(等密域圖)'를 하나의 대안으로 제안하고 싶은데, 본 논문에서는 원어를 그대로 읽어 사용하도록 한다.

3) Areal interpolation은 '역(域)-기반 인터폴레이션' 정도로 번역하는 것이 좋을 듯하지만, 본 논문에서는 원어를 그대로 읽어 사용하도록 한다.

4) Mennis and Hultgren(2006)도 유사한 수식을 제시하였지만(식(3) in p.181), 가중치를 절대적 인구밀도로 한정하고 있다.

참고문헌

신정엽, 2004, "지역 자료의 공간 단위 재구성 기법 및 에러 검증: 인구가중치 내삽법," 한국지역지리학회지, 10(2), 389-406.

오충원, 2002, "시 · 공간분석을 위한 GIS기법의 시간 지도 구현에 관한 연구: 안양시를 사례로," 대한지리학회지, 37(2), 191-202.

이상일, 1999, "기능지역의 설정과 '공간단위 수정가능성

의 문제(MAUP)," 한국지리환경교육학회지, 7(2), 757-783.

이희연, 1995,「지도학: 주제도 제작의 원리와 기법」, 서울: 법문사.

Arntz, M. and Wilke, R. A., 2007, An application of cartographic area interpolation to German administrative data, *AStA Advances in Statistical Analysis*, 91(2), 159-180.

Bloom, L. M., Pedler, P. J., and Wragg, G. E., 1996, Implementation of enhanced areal interpolation using MapInfo, *Computers & Geosciences*, 22(5), 459-466.

Chen, K. P, McAneney, J., Blong, R., Leigh, R. Hunter, L., and Magill, C., 2004, Defining area at risk and its effect in catastrophe loss estimation: a dasymetric mapping approach, *Applied Geography*, 24(2), 97-117.

Dent, B. D., 1999, *Cartography: Thematic Map Design*, 5th edition, Boston: McGraw-Hill.

Eicher, C. L. and Brewer, C. A., 2001, Dasymetric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation, *Cartography and Geographic Information Science*, 28(2), 125-138.

Fisher, P. F. and Langford, M., 1995, Modeling the errors in areal interpolation between zonal systems by Monte-Carlo simulation, *Environment and Planning* A, 27(2), 211-224.

Fisher, P. F. and Langford, M., 1996, Modeling sensitivity to accuracy in classified imagery: a study of areal interpolation by dasymetric mapping, *Professional Geographer*, 48(3), 299-309.

Flowerdew, R. and Green, M., 1989, Statistical methods for inference between incompatible zonal systems, in Goodchild, M. F. and Gopal, S., eds., *Accuracy of Spatial Databases*, Bristol, PA: Taylor and Francis, 229-247.

Flowerdew, R. and Green, M., 1992, Developments in areal interpolation methods and GIS, *Annals of Regional Science*, 26(1), 67-78.

Flowerdew, R. and Green, M., 1994, Areal interpolation and types of data, in Fotheringham, A. S. and Rogerson, P. A. (eds.), *Spatial Analysis and GIS*, London: Taylor & Francis, 121-145.

Flowerdew, R., Green, M., and Kehris, E., 1991, Using areal interpolation methods in geographic information systems, *Papers in Regional Science*, 70, 303-315.

Fotheringham, A. S. and Rogerson, P. A., 1993, GIS and spatial analytical problems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(1), 3-19.

Goodchild, M. F. and Lam, N. S.-N., 1980, Areal interpolation: a variant of the traditional spatial problem, *Geoprocessing*, 1, 297-312.

Goodchild, M. F., Anselin, L., and Deichmann, U., 1993, A framework for the areal interpolation of socioeconomic data, *Environment and Planning A*, 25, 383-397.

Goodchild, M. F. and Gopal, S., eds., 1989, *Accuracy of Spatial Databases*, Bristol, PA: Taylor & Francis.

Hawley, K., and Moellering, H., 2005, A comparative analysis of areal interpolation methods, *Cartography and Geographic Information Science*, 32(4), 411-423.

Holloway, S., Schumacher, J., and Redmond, R. L., 1997, People & Place: Dasymetric Mapping Using Arc/Info, Wildlife Spatial Analysis Lab, The University of Montana.

Holt, J. B., Lo, C. P., Hodler, T. W., 2004, Dasymetric estimation of population density and areal interpolation of census data, *Cartography and Geographic Information Science*, 31(2), 103-121.

Jun, B.-W., 2006, An evaluation of a dasymetric surface model for spatial disaggregation of

zonal population data, *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*, 12(5), 614-630.

Langford, M., 2006, Obtaining population estimates in non-census reporting zones: An evaluation of the 3-class dasymetric method, *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(2), 161-180.

Langford, M., 2007, Rapid facilitation of dasymetric-based population interpolation by means of raster pixel maps, *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(1), 19-32.

Langford, M. and Unwin D. J., 1994, Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system, *Cartographic Journal*, 31(1), 21-26.

Maantay, J. A., Maroko, A. R., and Herrmann, C., 2007, Mapping population distribution in the urban environment: The cadastral-based expert dasymetric system (CEDS), *Cartography and Geographic Information Science*, 34(2), 77-102.

MacEachren, A. M., 1994, *Some Truth with Maps: A Primer on Symbolization and Design*, Washington, D.C.: Association of American Geographers.

Martin, D. 1989, Mapping population data from zone centroid locations, *Transactions of the Institute of British Geographers*, 14(1), 90-97.

Martin, D., 1996, An assessment of surface and zonal models of population, *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8), 973-989.

Martin, D., Tate, N. J., and Langford, M., 2000, Refining population surface models: experiments with Northern Ireland census data, *Transactions in GIS*, 4(4), 343-360.

Martin, D., Dorling, D., and Mitchell, R., 2002, Linking censuses through time: Problems and solutions, *Area*, 34(1), 82-91.

Mennis, J., 2002, Using geographic information systems to create and analyze statistical surfaces of population and risk for environmental justice analysis, *Social Science Quarterly*, 83(1), 281-297.

Mennis, J., 2003, Generating surface models of population using dasymetric mapping, *Professional Geographer*, 55(1), 31-42.

Mennis, J. and Hultgren, T., 2006, Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation, *Cartography and Geographic Information Science*, 33(3), 179-194.

Openshaw, S., 1984, *The Modifiable Areal Unit Problem*, Concepts and Techniques in Modern Geography 38, Norwich: Geo Books.

Poulsen, E. and Kennedy, L. W., 2004, Using dasymetric mapping for spatially aggregated crime data, *Journal of Quantitative Criminology*, 20(3), 243-262.

Reibel, M. and Agrawal, A., 2007, Areal interpolation of population counts using pre-classified land cover data, *Population Research and Policy Review*, 26(5), 619-633.

Reibel, M. and Bufalino, M. E., 2005, Street-weighted interpolation techniques for demographic count estimation in incompatible zone systems, *Environment and Planning A*, 37(1), 127-139.

Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., and Howard, H. H., 2005, *Thematic Cartography and Geographic Visualization*, 2nd edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Tobler, W. R., 1979, Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions, *Journal of the American Statistical Association*, 74, 519-530.

Wu, S., Qiu, X., and Wang, L., 2006, Using semivariance image texture statistics to model population densities, *Cartography and*

Geographic Information Science, 33(2), 127-140.

Xie, Y. C., 1995, The overlaid network algorithms for areal interpolation problem, *Computers, Environment and Urban Systems*, 19(4), 287-306.

Yuan, Y., Smith, R. M., and Limp, W. F., 1997, Remodeling census population with spatial information from Landsat TM imagery, *Computers, Environment and Urban Systems*, 21(3), 245-258.