

농촌지역 노년인구를 위한 방문 의료서비스 구역 설정 모델 및 알고리즘*

김감영** · 신정엽*** · 이견학**** · 조대현*****

A Location Model and Algorithm for Visiting Health-care Districting for the Rural Elderly*

Kamyoung Kim** · Jungyeop Shin*** · Gunhak Lee**** · Daeheon Cho*****

요약 : 농촌지역의 과소화에 따라 의료서비스에 대한 공간적 접근성이 제한되고, 노령화에 따른 의료서비스의 수요가 급격히 증가함에 따라, 최근 방문보건서비스와 같은 서비스 제공자가 수요자에게 직접 이동하는 새로운 형태의 의료서비스가 많은 주목을 받고 있다. 이러한 의료환경의 변화는 공공 의료기관의 한정된 의료자원을 효율적으로 배분하고 운영하기 위한 혁신적이고 과학적인 접근법 개발에 대한 요구를 증대시키고 있다. 이러한 배경하에서 본 연구의 목적은 방문 의료서비스 제공을 위한 구역 설정 모델을 수립하고, GIS 환경에서 구역 설정 모델을 구현하는 자동구획절차(AZP) 알고리즘을 개발하는 것이다. 구역 설정 모델은 구역 내 이동성, 구역간 업무량 균형, 연속성 등의 조건을 고려한다. 이동성에 대한 세 개의 서로 다른 목적함수를 평가한다: 1) 구역 내 단위 지역간 네트워크 거리의 합 최소화, 2) 구역 내 단위 지역간 공간상호작용 최대화, 3) 구역 내 단위 지역을 순회하는 경로의 길이 최소화. 모델을 위한 AZP는 GIS 환경에서 개발되었고, 농촌의 방문보건 사례에 적용되었다. 결과는 개발된 AZP를 업무량 균형과 연속성 제약조건하에서 각 목적함수에 대하여 상이한 구획체계를 산출할 수 있음을 보여준다.

주요어 : 방문 의료서비스, 구획문제, 자동구획절차, 업무량 균형, 이동성

Abstract : As accessibility to health-care service in less populated rural areas is geographically limited and demand for public health-care by the aging is increasing, a new approach for health-care service such as a home care service is becoming more popular. For a home care service, health-care personnels directly visit to location of health-care clients. Such changes in provision of health services require developing innovative and scientific approaches for efficient allocation of health resources and managing services by public health-care organizations. The purpose of this study is to formulate a location model for visiting health-care districting for the rural elderly and to develop an Automated Zoning Procedure (AZP) to solve this model. Mobility, workload balance and contiguity criteria are considered in the model. Three different objective functions are evaluated; 1) minimizing the sum of network distance between the unit areas in a district, 2) maximizing spatial interaction between the unit areas in a district, and 3) minimizing tour distance that visits each unit area exactly once in a district. The AZP for solving the model is developed and applied to a rural area. The application results demonstrate that the AZP can generate different districting systems for each objective functions.

Key Words : visiting health-care service, districting problem, Automated Zoning Procedure (AZP), workload balance, mobility

* 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-328-B00101).

** 경북대학교 사범대학 사회교육학부 지리교육전공 전임강사(Full-Time Lecturer, Department of Geography Education, Kyungpook National University), kamyoungkim@knu.ac.kr

*** 서울대학교 사범대학 지리교육과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Seoul National University), geoshin@snu.ac.kr

**** 이화여자대학교 사회생활학과 연구교수(Research Professor, Department of Social Studies, Ewha Womans University), gunhlee@gmail.com

***** 서울대학교 교육융합연구원 객원연구원(Visiting Researcher, Center for Education Research, Seoul National University), daecheon2@snu.ac.kr

1. 연구의 필요성 및 연구 목적

지난 반세기 동안 산업화, 도시화와 같은 한국사회의 변화는 인구의 재배치를 통한 국토공간구조의 변화를 가져왔다. 이러한 변화 과정 속에서 지역간의 경제, 사회, 문화적 차이가 심화되면서 지역간의 불균형이 사회문제로 대두되게 되었다(최영철 등, 2007 참조). 지역간의 불균형은 국토 전반에 걸쳐 수도권과 비수도권 사이의 불균형뿐만 아니라 대도시지역과 농촌지역간의 불균형 양상으로 전개되고 있다.

국토공간의 변화와 함께 출산력의 감소와 평균수명의 증가에 따른 노령화는 인구학적인 변화를 가져왔다. 즉 유소년층 인구의 감소와 함께 노년층의 인구비율이 급격히 증가하고 있다. 통계청에 따르면 2000년 기준으로 우리나라의 노년층 인구비율은 7.33%로 고령화 사회에 접어들었고, 고령화 정도는 여타 선진국과 비교하여 더욱 빠르게 진행될 것으로 예측된다(이희연, 2005). 이러한 노령화 추세는 공간적으로 상이하게 나타나고 있고 농촌지역과 도시지역은 뚜렷한 대조를 보이고 있다(그림 1). 그림 1에서 보는 것처럼, 주요 농촌지역들이 고령(노인인구 비율 14% 이상) 혹은 초고령(노인인구 비율 20% 이상) 사회에 접어들면서 노령화 경향이 농촌지역에서 더욱 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 농촌지역의 노년층 인구의 상대적 증가는 지속적인 인구유출로 인한 생산연령층의 감소에서 기인한 것으로 볼 수 있다.

노령화에 따른 고혈압, 당뇨병 등 만성퇴행성질환으로의 질병구조의 변화와 재정문제, 그리고 이동성의 저하에 따른 의료서비스에 대한 지리적 접근성의 문제, 의료 수요의 절대적 부족에 의한 농촌지역 의료서비스의 양적·질적 수준의 저하는 농촌의 노년층을 의료 취약계층으로 만드는 동시에 공공의료에 대한 요구를 더욱 증대시키고 있다(Alexy and Elnitsky, 1998; 김영화·정금화, 2004). 노령화 사회에서 이러한 농촌의료 환경의 변화는 서비스 제공방법의 변화, 즉 의료서비스를 받기 위하여 수요자가 공급자를 찾아가는 것이 아니라 공급자가 수요자를 찾아가는 형태로 서비스 제공방법의 근본적 변화를 요구하고 있다. 이러한 변

화의 대표적인 예가 방문 의료서비스이다(이인숙, 2006; 김감영, 2007). 서비스 제공방법의 근본적인 변화는 서비스 구역 설정, 방문경로 설정과 같은 한정된 의료 자원을 효과적으로 운용하고, 공공의료 기관의 효율성을 향상시키기 위한 새롭고 혁신적 접근을 요구한다(Chahed *et al.*, 2009). 즉, 서비스 수요를 만족시키면서 한정된 의료 자원으로 서비스의 효과를 높이기 위하여 수요자의 분포, 의료서비스 제공 기관의 관할 구역, 서비스 제공자의 이동 경로 등에 대한 체계적인 공간분석 및 모델링이 요구된다. 그러나 국내의 방문 의료서비스 관련 논의를 보면 방문의료서비스의 필요성, 효과, 서비스 제공과정에서 발생하는 문제점과 해결방안에 대한 논의가 주를 이루고 있는 반면(김정화, 2004; 이태화, 2004; 김원진·장영기, 2005; 이인숙, 2006; 박정숙 등, 2007), 방문의료서비스 제공과정에서 발생하는 공간의사결정 문제는 매우 제한적으로 다루어 졌다. 최근 김감영(2007)에 의해서 방문 의료서비스 제공 경로 설정문제가 다루어졌을 뿐이다. 이 경우 서비스 구역은 이미 결정된 것으로 간주하고 방문 경

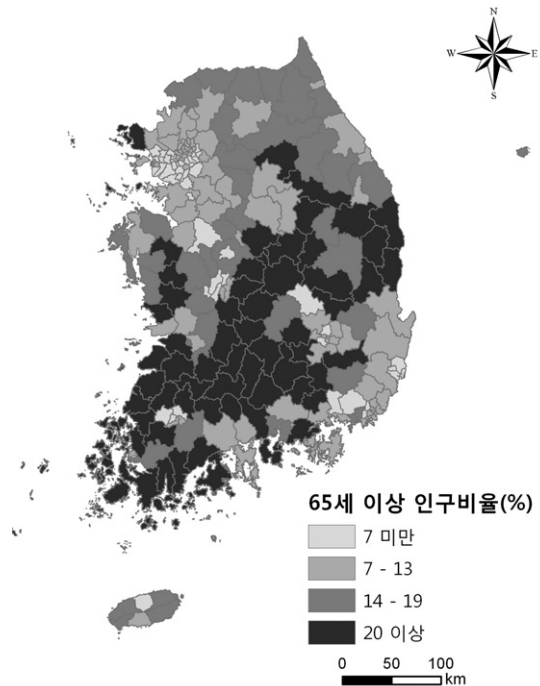


그림 1. 65세 이상 노년층 인구비율 분포

자료: 인구주택총조사, 2005

로 설정에만 초점을 두었다.

이러한 배경하에서 본 연구의 목적은 방문 의료서비스 제공을 위한 구역 설정 모델을 수립하고, GIS 환경에서 구역 설정 모델을 구현하는 자동구획절차(AZP) 알고리즘을 개발하는 것이다. 일반인이 모두 접근 가능한 병원과는 달리 공공 의료서비스는 관할구역을 근거하여 서비스를 제공하는 특징을 지니기 때문에(Blais *et al.*, 2003), 서비스 제공을 위한 구역 설정 과정이 요구된다. 한편, 지역의 인구학적 변화에 의한 수요의 공간적 변화, 공공 의료 인식 및 제정의 변화와 같은 의료 환경의 변화는 서비스 제공자의 입장에서 구역간 업무의 불균형, 서비스 수요자의 입장에서 의료 불평등을 유발하게 된다. 따라서 업무의 효율성을 향상시키고, 공공 의료서비스의 형평성을 향상시키기 위하여 주기적인 구역 재조정 과정이 필요하다. 공공 의료서비스의 제공 과정에서 발생하는 이러한 공간의사결정 과정을 지원할 수 있는 방법론과 모델을 제시하는 것이 본 연구의 궁극적인 목표이다.

2. 이론적 배경

1) 문헌 연구

의료서비스 구역 설정 문제는 일반적인 구획문제의 특수한 형태이다. 구획문제가 선거구 설정, 학군 설정, 서비스 구역 설정 등 다양한 분야에서 광범위하게 연구된 것에 비하여 의료서비스 분야에서는 상대적으로 덜 연구되었다. 국내의 경우 입지-배분 문제를 이용한 학군 설정(서태열, 1987; 최은식 · 윤성희, 1995), 자동구획절차를 이용한 소지역 통계구역 설정(강영옥 등, 2007; 건설교통부, 2007) 등의 연구가 이루어진 반면, 의료서비스 권역 설정에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 이는 병원과 같은 의료 개념에서 영역성보다는 자유 선택 특성이 강하기 때문이다. 그러나 민간 의료서비스와는 달리 공공 의료서비스는 여전히 영역성을 토대로 제공되고 있다. 또한 효과적으로 서비스를 제공할 수 있도록 한정된 자원을 배분하는 것뿐만 아

니라 수요자들의 의료 형평성을 향상시키기 위하여 체계적인 구역 설정이 요구된다(Malczewski and Ogryczak, 1988; Blais *et al.*, 2003).

해외의 경우 이러한 필요성 인식을 토대로 제한적이기는 하지만 몇몇 연구들에서 의료서비스 구역 설정 문제를 다루었다. 먼저 Ghiggi *et al.*(1976)은 연속성, 인구 범위 등의 제한조건 하에서 수요자가 의료시설까지의 거리를 극복하는데 드는 비용을 최소화하는 형태로 구역을 설정하는 구획문제를 다루었다. 이들의 구획 모델은 집합분할문제(Set Partitioning Problem)와 유사한 형태를 띠고 있다. 이 연구는 의료시설의 위치와 수용력은 이미 결정되었다는 전제하에 시설의 수용력과 수요를 고려하여 단위 지역을 할당하는 배분문제에 초점을 두었다. 한편 Malczewski and Ogryczak (1988)은 의료서비스 영역의 재조직화 문제에 최적화 기법을 적용하여 세 개의 목적함수를 갖는 선형 계획법(linear programming)을 제시하였다. 선형 계획법은 의료 시설의 입지가 이미 결정된 상태에서 시설의 수용력을 토대로 수요만을 할당하는 형태로, 교통문제(Transportation Problem)와 유사한 구조를 갖는다. 즉, 시설의 입지는 주어진 것으로 간주하고 수요의 배분 문제에 초점을 두었다. 첫 번째 기준은 수요와 공급 사이의 최대 거리의 최소화, 공급지로부터 가장 멀리 떨어진 수요까지의 거리를 최소화한다. 이를 통하여 수요자들 사이의 공간적 형평성을 어느 정도 담보할 수 있는 동시에 조밀한 서비스 영역을 형성하는 것이 가능하다. 두 번째 기준은 수요자의 최대 추가 이동 거리의 최소화이다. 추가 이동 거리는 의료시설의 수용력의 한계에 의해서 발생하는 것으로, 수요가 할당된 시설까지의 거리와 최근린 시설까지의 거리의 차이를 의미한다. 마지막 기준은 동일 건물에 입지한 상이한 서비스 범위를 갖는 의료시설(예: 일반 병원과 치과)에 할당되는 수요의 수를 최대화하는 것이다.

Ghiggi *et al.*(1976)과 Malczewski and Ogryczak (1988)의 논의는 의료시설의 위치는 고정된 것으로 간주하고 배분의 문제에 초점을 두었다는 점에서 유사하다. 이들과는 달리 Oliveira and Bevan(2006)은 입지-배분 문제를 이용하여 의료시설의 입지를 결정하는 것뿐만 아니라 수요를 배분하는 문제를 다루었다. 이들

의 모델링 접근에서 핵심은 형평성 개념으로, 환자의 행태에 기반을 두어 의료서비스에 대한 접근과 이용에서의 형평성을 달성할 수 있도록 의료 공급을 공간적으로 어떻게 재분배해야 하는지에 초점을 두었다. 이들은 모델링을 위해 환자의 병원 이용 행태, 수요지와 병원 사이의 상호작용, 병원 시설에 대한 환자의 수요 등을 고려하였으며, 형평성을 달성하기 위하여 지역에 대한 예측 효용(predicted utilization, 개별 의료 시설의 서비스 공급과 단위 지역 수요자가 해당 시설을 이용할 확률로 계산)과 기준 효용(normative utilization, 예측 효용의 평균값)의 차이의 합을 최소화하는 목적함수를 사용하였다. 지금까지 살펴본 연구들은 수요자가 의료서비스를 받기 위하여 공급자를 찾아간다는 것을 암묵적으로 혹은 명시적으로 전제하고 있다.

최근 '방문' 혹은 '이동' 의료서비스 개념을 토대로 한 의료공급체계가 도입되면서 서비스의 제공 행태가 바뀌고 있다. 즉, 의료서비스 공급자가 직접 수요자를 찾아가 수요자가 필요로 하는 서비스를 제공하는 것이다. 몇몇 연구들에서 이러한 공급체계의 변화를 반영한 의료서비스 구역 설정 문제를 다루기 시작하였다. Blais *et al.*(2003)은 가정방문 의료서비스 제공을 위하여 지역을 여러 개의 구역으로 분할하는 방법을 논하였다. 이들은 구역 설정의 기준으로 연결성, 방문 인력의 이동성, 업무량에서의 균형 등을 고려하였다. 이들은 입지-배분 문제 대신에 이러한 기준들을 유연하게 고려할 수 있는 포괄문제(Set Covering Problem)에 기초하여 구역을 설정하였다. 그리고 문제해결을 위하여 타부 탐색(Tabu Search) 기법을 이용하였다. 타부 탐색은 해를 찾는 과정에서 알고리즘이 전역적 해가 아닌 국지적 해에 빠지는 것을 막기 위하여 특정 이동을 제한한다('타부' 시한다)는 의미로 명명된 휴리스틱 기법이다. 유사하게 Hertz and Lahrichi(2009)는 이동 거리를 최소화하면서 이동 의료서비스를 제공하는 간호사들 사이의 업무량 균형이 맞도록 환자에게 재가서비스를 담당하는 간호사를 할당하는 최적화 모델 및 문제해결을 위한 타부 탐색 기법을 개발하였다. 이들은 업무량을 계산하기 위하여 간호사의 방문자수, 간호사에게 할당된 환자의 범주(서비스 소요 시간 결정), 이동거리 등을 동시에 고려하였다. 이들이 개발한 모델

은 비선형 목적함수를 갖는 일반 할당문제(Generalized Assignment Problem)의 형태를 띤다. Blais *et al.*(2003)와 Hertz and Lahrichi (2009)는 기존 연구와 비슷한 구역 설정 혹은 자원 할당 모델을 사용하였지만, 담당 구역 내 수요자들에게 서비스를 제공하기 위하여 공급자가 움직여야 하는 '이동성' 개념을 명시적으로 고려했다는 점에서 차별성을 갖는다. 또한 담당자 사이의 업무량 균형(workload balance)을 모델링의 중요한 요소로 고려하였다.

이상에서 보면 의료서비스 구역 설정과 관련된 초기의 논의는 수요자의 이동에 초점을 두고 있는 반면, 최근의 논의는 공급자의 이동에 초점을 두어 모델링을 하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 기존 연구들은 구역 설정을 위하여 집합분할문제, 교통문제, 포괄문제, 입지-배분 문제 등 상이한 모델을 사용하였다. 구역 설정에 상이한 모델이 사용되었지만 이들 사이에는 공통점이 존재한다. 즉 수요(구체적으로 환자일 수도 있고 단위 지역일 수도 있음)가 의료 시설 혹은 구역에 할당될 때 포괄성과 상호 배타성이 유지된다는 점이다. 여기서 포괄성은 모든 수요는 시설 혹은 구역에 할당되어야 한다는 것을 의미하고, 상호 배타성은 할당될 때 오직 하나의 시설 혹은 구역에 할당되어야 한다는 것을 의미한다. 이러한 특성에 의해서 모델들은 자연스럽게 수요를 몇 개의 집합(구역)으로 분할하게 된다. 이러한 특성 때문에 위에서 언급한 모델들을 구역 설정에 이용하는 것이 가능하다. 다음에서는 이러한 모델들 중 구역 설정에 자주 이용되는 포괄문제와 입지-배분 문제의 대표적인 예인 p-median 문제를 토대로 구획문제를 개관한다.

2) 구역 설정 모델 및 구현 방법론

(1) 구역 설정 문제

포괄문제를 입지문제에 적용한 것이 입지포괄문제(Location Set Covering Problem: LSCP)로, 모든 지역을 커버할 수 있도록 최소수의 시설의 입지 조합을 결정한다. LSCP는 소방시설과 같은 공공시설, 감시 타워나 응급 경계 시설 등의 입지문제에 널리 이용되어 왔다(Schilling *et al.*, 1993 참조). LSCP에 대한 선형 정수

계획법(integer linear programming)은 Toregas *et al.*(1971)의해서 제시되었다.

p-median 문제는 다중 시설의 입지-배분 문제의 하나로, 가장 가까운 시설과 수요 사이의 거리(비용)의 합을 최소화하도록 p개 시설의 입지를 결정하고 결정된 시설에 수요를 배분한다. 이러한 p-median 문제는 도서관, 학교, 우체국, 보건소 등 대중의 접근성이 중요한 많은 공공 서비스 시설물의 입지 결정에 널리 적용되어 왔다. p-median 문제는 Hakimi(1964)에 의해 처음으로 정형적으로 정의되었다. 그는 노드(수요지점)이면서 동시에 잠재적 시설물 후보지와 노드를 연결하는 아크(도로 또는 접근을 위한 통로)로 구성된 네트워크 공간에서, 최소한 노드들만으로 구성되는 해가 존재함을 증명했다. 이 증명을 통하여 무한한 공간에서 p개 시설물의 위치를 찾는 것이 아니라 유한한 이산적인 노드 집합에서 p개의 시설물의 위치를 찾는 것이 정당화되었다. ReVelle and Swain(1970)은 p-median 문제에 대한 선형 정수 계획법을 제시하였다.

LSCP과 p-median 문제가 모델의 기본 특성에 의해서 구역 설정 과정에서 이용되었지만 많은 경우 시설물의 입지 선정에 이용되는 보편적인 모델이다. 이들 모델을 토대로 제시된 구획문제는 직접적으로 구역 설정에 적합하도록 고안된 모델이다. 구획문제는 한 지역의 기본 공간 단위들, 예를 들어, 한 도시의 행정 단위들이 주어졌을 때, 이 공간 단위들을 특정 목적이 최적화되도록 몇 개의 구역 또는 존으로 그룹화시키는 것이다. 이때 구역은 내적으로 연결된 연속적 지역을 형성한다. n개의 단위 지역을 m개의 구역으로 구획하는 방법은 무수히 많기 때문에 구획문제는 조합 최적화 문제(Combinatorial Optimization Problem)가 된다. 이러한 구획문제는 선거구(Williams Jr, 1995; Hojati, 1996; Mehrotra *et al.*, 1998), 학군(Schoepfle and Church, 1991), 치안 관할구(D'Amico *et al.*, 2002), 판매구역(Zoltners and Sinha, 1983), 응급구호 및 가장 방문 의료서비스 구역(Blais *et al.*, 2003) 등 실세계의 많은 문제들에 적용되었다. 각 문제의 특성에 따라서 모델이 다양한 형태를 띠고 상이한 제약조건을 가질 수 있지만, 구획문제는 일반적으로 인구 균형, 연속성, 조밀성이라는 세 가지의 공통된 조건들을 포함

한다(Novaes *et al.*, 2009). 즉 구역에 할당된 인구(수요)는 특정한 허용치 내에서 균등해야 하며, 각 구역에 할당된 공간 단위들은 지리적으로 인접하고 조밀해야 한다. 구획문제에 대한 정형적인 수학적 모델을 정의하기 위하여 다음과 같은 기호를 고려할 필요가 있다:

- i = 기본 공간 단위 인덱스;
- j = 구역 설정 시드(seed) 인덱스;
- c_{ij} = 공간 단위 i 를 j 구역에 할당하는데 드는 비용;
- p_i = 공간 단위 i 의 인구;
- $[l, u]$ = 구역에 할당되는 인구의 허용범위,
 l = 최소값, u = 최대값;
- m = 구획할 구역의 수;
- $y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{단위지역 } i \text{가 } j \text{ 구역에 할당된 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases}$

기호 중 모델의 결정변수는 y_{ij} 로, 이를 포함한 수학적 모델은 다음과 같다(Hess *et al.*, 1965; Bozkaya *et al.*, 2003):

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j c_{ij} y_{ij} \tag{1}$$

$$\text{Subject to } \sum_j y_{ij} = 1 \quad \forall i \tag{2}$$

$$y_{ij} \leq y_{jj} \quad \forall i, j \tag{3}$$

$$\sum_j y_{jj} = m \tag{4}$$

$$l \leq \sum_j p_j y_{ij} \leq u \quad \forall j \tag{5}$$

$$y_{ij} = \{0,1\} \quad \forall i, j \tag{6}$$

위의 선형 정수 계획법은 변형된 p-median 문제로 볼 수 있으며, 할당의 용량이 제한되는 특성을 가지고 있다. p-median 문제와의 차이점이라면 입지결정변수가 모델에 명시적으로 드러나 있지 않고 시드의 선택이라는 형태로 암묵적으로 모델에 포함되어 있다는 점이다. 목적함수 (1)은 공간 단위를 구역에 할당하는 비용(거리)을 최소화시킴으로써, 구역의 내재적으로 조밀성을 확보한다. 제약조건 (2)는 모든 공간 단위들이 하나의 구역에만 할당되도록 제한한다. 이를 통하여 구획의 포괄성과 상호 배타성이 확보된다. 제약조건

(3)은 시드 j 가 선택되었을 때만이 공간 단위 i 의 할당이 가능함을 의미한다. 제약조건 (4)에 의해서 구획화할 구역의 수가 정해진다. 제약조건 (5)는 인구 균형 조건을 수학적으로 정형화하고 있으며, 각 구역에 할당된 총 인구(수요)는 최소 허용범위 l 과 최대 허용범위 u 내에 있도록 제한하고 있다. 제약조건 (6)은 결정변수가 0과 1의 이진 정수의 행태를 갖도록 한다.

위에서 제시된 선형 정수 계획법은 구획문제의 세 가지 조건 중 조밀성과 인구 균형을 명시적으로 포함하고 있다. 반면 한 구역에 할당된 임의의 단위 지역에서 구역 내 다른 단위 지역으로 다른 구역을 경유하지 않고 이동이 가능하도록 하는 연속성 제약조건은, 조밀성과 유사하게 목적함수가 내재적으로 함의하고 있기는 하지만, 이 모델에서 완전히 보장되지는 않는다(Mehrotra *et al.*, 1998). 이는 수학적 절차를 통하여 산출된 이 모델에 대한 해(exact solution)는 연속성 제약 조건을 위배할 수도 있다는 것을 의미한다. LSCP와 p-median 문제도 이러한 상황으로부터 자유롭지 못하다. 한편 n 개의 단위 지역을 m 개의 구역으로 구획하는 경우의 수는 조합의 문제로 무수히 많기 때문에 일반적으로 최적의 해를 찾는 것이 어렵다. 이러한 이유 때문에 구획문제 해결을 위하여 휴리스틱 기법이 널리 사용되어왔다. 구획문제에 대한 일반적인 휴리스틱 기법은 임의로 m 개의 시드를 선택한 후 목적함수를 향상시킬 수 있도록 남은 공간 단위들을 인구 범위 조건과 연속성 조건을 만족시키면서 반복적으로 시드에 할당한다. 구획문제를 풀기 위해 사용된 대표적인 휴리스틱 기법으로는 담금질 기법(Simulated Annealing, Browdy, 1990; D'Amico *et al.*, 2002), 타부 탐색(Bozkaya *et al.*, 2003) 등이 있다. 이러한 휴리스틱 기법들에서 구역 형성의 기본 아이디어는 Openshaw (1977)의 자동 구획 절차(Automated Zoning Procedure: AZP)와 유사하다. 따라서 다음에서는 구획문제에 대한 휴리스틱 기법의 기초를 이루고 있는 AZP에 대하여 살펴본다.

(2) 구역 설정 문제해결을 위한 AZP

Openshaw(1977)는 최적화된 구획해를 찾기 위한 컴퓨터 기반의 자동화된 도출 과정을 제시하였고 이를

'자동 구획 절차'라고 명명하였다. AZP는 휴리스틱 기반의 최적화 알고리즘이다. Openshaw에 의해서 제시된 AZP는 영국 센서스 통계공표구역 설정을 위한 연구(Martin, 1998)나 우리나라의 자동화된 집계구 설정 연구(건설교통부, 2007) 등에서 널리 활용되고 있다. 구역 설정에 있어서 p-median 문제나 구획문제에 대한 수학적 접근과 비교하여 AZP가 갖는 장점은 빠르게 문제에 대한 해를 찾을 수 있다는 점이다. 또한 ILOG사의 CPLEX와 같은 최적화 패키지의 도움 없이도 문제를 풀 수 있다는 장점을 지닌다. 그러나 AZP는 휴리스틱 기법으로 이 과정을 통하여 산출된 해가 반드시 전역적 최적해(global optimum)가 되는 것은 아니다. 다시 말해서 AZP를 통하여 제시된 해보다 더 좋은 해가 존재할 수 있다는 것을 의미한다.

몇몇 연구들에서 GIS 환경에서 AZP를 구현하는 노력이 시도되었다. 먼저 Openshaw and Rao(1995)는 GIS 소프트웨어 패키지 안에서 구역 설계 방법론을 이행하는 것을 시도하였다. 이들은 AZP의 구현을 위하여 ESRI ArcInfo의 AML(Arc Macro Language)을 이용하였다. AZP는 본질적으로 국지적 탐색 알고리즘이므로 국지적 최적해(local optimum)에 빠질 가능성이 있다. 이를 극복하기 위하여 담금질 기법과 타부 탐색 기법을 개발하였다. 한편 Palladini(2004)는 ESRI ArcGIS의 ArcObjects VBA(Visual Basic for Applications)를 이용하여 GIS 환경에서 AZP를 구현하는 알고리즘을 개발하였다. 이 연구의 특징은 구획문제의 목적함수로 공간적 자기상관 측정치인 Moran's I를 최적화한다는 점이다. 일반적으로 AZP 알고리즘은 다음과 같은 절차를 통하여 수행된다(Openshaw, 1977; Openshaw and Rao, 1995):

- 1단계: n 개의 단위 지역으로부터 무작위로 연속성 조건을 만족시키는 m 개의 구역으로 구성된 구획체계 생성($m < n$)
- 2단계: 초기 구획체계에 대한 목적함수 값 계산
- 3단계: 임의로 하나의 구역을 선택하여 경계 단위 지역(다른 구역과 경계를 공유하는 단위 지역) 목록 생성
- 4단계: 해당 구역의 경계 단위 지역 목록에서 임의

로 하나의 단위 지역 선택

5단계: 연속성 조건을 유지하면서 선택된 단위 지역을 다른 구역으로 이동시킬 수 있는지 여부 확인

6단계: 5단계를 만족하면 단위 지역의 이동을 전제로 새로운 구획체계에 대한 목적함수 값 계산, 그렇지 않으면 4단계 반복

7단계: 목적함수 값이 향상되었으면 이동 수용

8단계: 구역에 대한 갱신된 경계 단위 지역 목록을 다시 작성하고 모든 단위 지역을 처리할 때까지 4단계에서부터 반복 수행

9단계: 목적함수의 향상이 이루어지지 않을 때까지 3~8단계 반복

지금까지 구역 설정을 위한 일반 모델과 이를 구현하는 알고리즘을 살펴보았다. 다음에서는 이러한 모델과 알고리즘을 농촌지역 노년인구를 위한 방문 의료서비스 구역 설정 문제에 적용하고 한다. 방문 의료서비스에 적합하도록 모델을 수립하고 GIS 환경에서 모델에 대한 해를 구하기 위한 AZP를 개발한 후 사례지역에 적용한다.

3. 방문 의료서비스 구역 설정 모델 수립

1) 구역 설정 기준

넓게는 의료서비스 구역 설정, 좁게는 방문 의료서비스 구역 설정 과정은 다기준 공간 의사결정 과정이다(Malczewski and Ogryczak, 1988; Blais *et al.*, 2003). 이러한 특성을 반영하여 농촌지역 노년인구를 위한 방문 의료서비스 구역 설정을 위한 모델 수립 과정에서 Blais *et al.*(2003)와 Hertz and Lahrchi(2009)와 같이 업무량 균형, 연속성, 이동성 등의 조건을 고려한다.

업무량 균형: 방문 의료서비스 구역을 설정하는데 있어 고려해야 할 중요한 요인의 하나가 각 구역별 서비스 담당자가 처리해야 할 업무량의 균형이다(Blais *et*

al., 2003). 우리나라에서 행해지고 있는 방문보건사업의 대상은 국민기초생활수급가구 및 차상위계층(건강보험료 부과등급 50% 이하 또는 실제소득이 현 최저생계비의 120% 미만)이면서 거동이 불편하거나 건강문제를 가진 가족 및 가구원이다(보건복지부, 2006). 그러나 농촌지역의 경우 인구의 노령화, 재정적 어려움, 지리적 고립 등으로 노년층의 의료서비스에 대한 접근성은 떨어졌지만 공공의료에 대한 요구는 더욱 증가하고 있기 때문에(김영화 · 정금화, 2004) 방문 의료서비스의 대상을 65세 이상의 노년층으로 확대하는 것이 필요하다. 이인숙(2006)의 경우 65세 이상의 노인가구를 방문 의료서비스의 1순위로 지정하였다. 이러한 사실에 기초하여 본 연구에서는 단위 지역의 65세 이상 인구를 방문 의료서비스의 대상으로 설정하였다. Hertz and Lahrchi(2009)와 같이 수요자의 수뿐만 아니라, 수요자의 서비스 요구 수준, 이동 시간 등을 고려하여 업무량을 계산하는 것이 타당하지만 65세 이상 인구에 대한 상세한 개별 정보를 수집하는데 한계가 있어 수요(업무대상)를 단위 지역의 65세 이상 인구로 한정한다. 구역별 65세 이상의 인구수의 편차가 작도록 의료서비스 구역을 설정한다. 업무량 균형은 의료구역이 잠재적으로 처리해야 할 업무량에서의 차이를 줄임으로써 서비스 제공자 입장에서의 업무 처리 형평성을 향상시킬 수 있으며, 수요자의 입장에서 상대적으로 균등하게 서비스를 받을 기회를 갖기 때문에 형평성을 향상시킬 수 있다.

연속성: 다른 여타의 구획문제와 마찬가지로 한 구역에 속한 임의의 단위 지역에서 다른 구역을 거치지 않고 구역 내의 다른 모든 단위 지역으로 이동할 수 있도록 하는 연속성 조건을 만족시키는 구역을 설정한다.

이동성: 게리맨더링을 피하기 위하여 조밀한 기하학적 모양이 중요시되는 선거구 구획과는 달리 방문 의료서비스는 구역의 모양 자체 보다는 구역 내에서 서비스 제공자가 효과적으로 이동하는 것이 더욱 중요하다. 효율적 이동은 구역의 네트워크 체제에 의존하게 되고, 산출된 모양은 네트워크를 따라 불규칙적으로 형성될 수 있다. 따라서 네트워크를 통한 이동성이 더욱 중요한 요소가 된다. 포괄문제, p-median 문제, 그

리고 일반적인 구획문제가 상정하는 공급자와 수요자 사이의 거리의 합(즉 i, j 쌍 사이의 거리의 합)은 방문 의료서비스를 위한 구역 설정에서 이동성을 정확하게 측정하지 못한다. 왜냐하면 방문 의료서비스 구역 내에서 서비스 제공자는 경로의 형태로 수요자를 방문하기 때문이다. 경로의 형태를 반영하기 위하여 본 연구에서는 세 가지 서로 다른 형태의 구역 내 이동성 측정 방식을 사용한다; 1) 구역 내 단위 지역 간의 네트워크 거리, 2) 구역 내 단위 지역의 인구와 이들간의 네트워크 거리를 기반으로 한 공간상호작용, 3) 구역 내의 모든 단위 지역을 순회하는 네트워크 이동거리. 어떠한 형태의 목적함수를 취하든 이동성 조건은 구역 내에서의 서비스 제공자의 이동을 최소화시킴으로써 서비스 제공의 효율성을 향상시키는데 기여한다.

2) 목적함수 및 제약조건

AZP를 적용하는 현실적 어려움 중 하나는 목적함수를 결정하고 제약조건을 부여하는 것이다(Openshaw and Rao, 1995, 428). 구획 체계의 결과는 최적화되는 목적함수에 의존적이다. 다양한 목적함수가 사용될 수 있지만 본 연구에서는 이동성 조건을 목적함수로 사용한다. 위에서 기술한 이동성을 측정하는 세 가지 방식에 상응하는 상이한 목적함수를 정의하는 것이 가능하다. 첫 번째 대안은 구역 내 단위 지역 간의 이동거리의 합을 최소화하는 것이다. 방문 의료서비스는 제공자가 수요자를 찾아 순회하는 형식이기 때문에 수요자와 서비스 제공자 사이의 거리의 합을 최소화하는 것보다는 지역 간 이동을 최소화하는 것이 더 바람직하다. 두 번째 대안은 구역 내 단위 지역 간의 공간상호작용을 최대화하는 것으로, 이를 위하여 공간 상호작용모델을 이용한다. 이 경우 이동성의 개념이 간접적으로 반영되지만 산출된 구역은 내적 응집력을 갖는 장점이 있다. 마지막 대안은 구역 내 단위 지역을 모두 순회하는 경로의 합을 최소화하는 것이다. 이는 가장 직접적으로 방문 의료서비스의 형태를 반영하는 것으로 각 구역에 대하여 순회판매문제를 푸는 형태가 된다. 업무량 균형은 제약조건 형태로 모델에 명시적으로 반영되고, 연속성 조건은 AZP 알고리즘 상에서 준수되

도록 한다.

3) 방문 의료서비스 구역 설정 모델

이상의 구역 설정의 기준과 목적함수 및 제약조건에 대한 논의를 토대로 방문 의료서비스 구역 설정 모델을 수학적으로 정형화하기 위하여 다음과 같은 기호들을 먼저 정의하는 것이 필요하다:

i, j = 단위 지역 인덱스 $i, j \in I, i < j$;

k = 구역 설정 시드 인덱스;

d_{ij} = 단위 지역 i 와 시드 j 사이의 네트워크 거리;

p_i = 단위 지역 i 의 인구;

p_{65+} = 단위 지역 i 의 65세 이상 인구;

$[l, u]$ = 구역의 65세 이상 인구의 최소 및 최대 허용 범위;

m = 구획할 구역의 수;

C = 조정 상수;

λ = 거리마찰 계수;

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{단위지역 } i, j \text{가 } k \text{구역에 할당된 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases}$$

여기에서 y_{ijk} 가 결정변수가 되고 결정변수를 포함한 구역 설정을 위한 수학적 모델은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\text{목적함수 대안 1: Minimize } \sum_k \sum_i \sum_{j>i} d_{ij} y_{ijk} \quad (7)$$

혹은

$$\text{목적함수 대안 2: Maximize } \sum_k \sum_i \sum_{j>i} C \frac{p_i \times p_j}{d_{ij}^\lambda} y_{ijk} \quad (8)$$

혹은

$$\text{목적함수 대안 3: Minimize } \sum_k \sum_i \sum_{j>i} d_{ij} y_{ijk} \quad (9)$$

Subject to

$$\sum_k y_{ijk} = 1, \quad \forall i, j(i < j) \quad (10)$$

$$y_{ijk} \leq y_{kkk} \quad \forall i, j, k(i < j) \quad (11)$$

$$\sum_k \sum_k y_{kkk} = m \quad (12)$$

$$l \leq \sum_i \sum_{j>i} (p_{65i} + p_{65j}) y_{ijk} \leq u \quad \forall k \quad (13)$$

$$y_{ijk} = \{0, 1\} \quad \forall i, j, k(i < j) \quad (14)$$

$$\sum_i y_{ijk} - \sum_j y_{jik} = 0, \quad \forall j, k(i < j) \quad (15)$$

$$\sum_k \sum_{i \in \Psi} \sum_{(j>i) \in \Psi} y_{jik} \leq |\Psi| - 1, 2 \leq |\Psi| \leq |I|, \quad \forall \Psi \subseteq I \quad (16)$$

이 모델은 각 구역에서 제공되는 의료서비스의 수준이 동일하다는 것을 전제로 한다. 또한 각 구역은 2개 이상의 단위 지역으로 구성된다라는 것을 내포하고 있다. 결정변수가 1이 되기 위해서는 단위 지역 i 와 j 가 구역 k 에 동시에 할당되어야 하기 때문이다. 목적함수 (7)은 구역 내 모든 단위 지역간의 이동거리의 합을 최소화한다. 이와는 반대로 목적함수 (8)은 같은 구역으로 묶인 단위 지역 사이의 공간상호작용을 최대화하는 것으로, 다양한 형태의 함수가 정의될 수 있지만, 본 연구에서는 지역간 인구 규모와 거리차로 정의되는 전형적인 중력모델을 적용하였다. 이때 지역간 공간상호작용은 단위 지역의 인구 규모에 비례하고, 거리에 반비례한다. 목적함수 (9)는 목적함수 (7)과 동일한 형태를 갖지만 의미하는 바가 다르다. 구역 내의 모든 단위 지역을 순회하는 경로의 합을 최소화한다. 즉 목적함수 (9)는 순회판매원문제와 같은 것으로, 목적함수 (7), (8)과는 달리 순회경로를 만들어내는 추가적인 제약조건이 필요하다.

제약조건 (10)에서 (14)는 구획문제가 일반적으로 갖는 것으로 위의 세 목적 함수에 공통적으로 적용되고, 제약조건 (15)와 (16)은 목적함수가 (9)인 경우 추가적으로 적용된다. 제약조건 (10)은 단위 지역 할당의 포괄성과 상호 배타성을 강제하는 것으로, 단위 지역은 오직 하나의 구역에만 할당된다는 것을 의미한다. 제약조건 (11)은 k 가 시드로 선택된 경우에만 단위 지역 i, j 를 할당할 수 있다는 것을 뜻하고, 제약조건 (12)는 m 개의 구역이 만들어지도록 한다. 제약조건 (13)은 구역 내 65세 이상 인구의 하한과 상한을 설정하고, 제약조건 (14)는 결정변수가 이진변수임을 나타낸다. 제약조건 (15)는 순회판매원문제에서 흐름을 유지시키는 제약조건으로, 한 단위 지역으로 들어가는 흐름이 있으면 반드시 나오는 흐름이 있어야 한다는 것을 의미한다. 제약조건 (16)은 순회판매원문제에서 하위경로

가 발생하지 않도록 한다. 여기에서 Ψ 는 2개 이상의 단위 지역으로 구성된 부분집합을 의미한다.

4. GIS 환경에서 구역 설정 모델 구현

위에서 제시된 방문 의료서비스 구역 설정 모델에 대한 최적해는 Openshaw(1977)의 AZP에 기반한 휴리스틱 방법을 통하여 산출된다. 구역 설정 모델을 풀기 위한 AZP는 GIS 환경에서 구현된다. AZP를 위한 절차와 알고리즘 및 제반 분석 과정은 ESRI ArcObjects 기반의 VBA를 이용하여 개발되었다. 방문 의료서비스 구역 설정을 위해 GIS를 이용하여 개발된 AZP를 사례 지역에 적용하기에 앞서 AZP를 이용한 모델의 구현 과정에서 발생하는 몇 가지 이슈들을 살펴볼 필요가 있다.

첫째, 단위 지역들 사이의 네트워크 거리계산의 문제이다. 이동성 개념이 AZP의 목적함수로 사용되었고, 세 개의 서로 다른 목적함수가 모두 단위 지역 사이의 네트워크 거리를 바탕으로 계산된다. 따라서 좀 더 현실적인 거리의 재현이 요구된다. 일반적으로 단위 지역의 단순 기하학적 중심점을 산출하여 지역 사이의 거리를 계산한다. 단위 지역이 공간적으로 등질적인 경우에는 상관없이 없지만, 지역 내 인구분포라든지 토지이용이 이질적인 경우 중심점의 대표성이 떨어지는 문제가 있다. 이 문제에 대한 대안으로 본 연구에서는 단위 지역의 인구 중심점을 산출하여 거리계산에 이용하였다. 이를 위해서 단위 지역의 인구 분포를 추정하는 과정이 요구된다. 인구 분포 추정을 위하여 단위 지역의 인구와 토지이용 정보를 바탕으로 영역 내삽법(이상일 · 김감영, 2007)을 수행하였다. 이 과정에서 단위 지역 인구는 토지이용 형태와 면적에 따라 공간적으로 배분된다. 토지이용에 공간적으로 배분된 인구를 가중치로 하여 단위 지역의 인구중심점을 산출하였고 이를 바탕으로 단위 지역간의 네트워크 거리를 계산하였다.

둘째, AZP의 1단계에 해당하는 초기 m 구획체계를 어떻게 생성할 것인가 이다. 일반적으로 초기 해는 무

작위로 생성된다. 그러나 초기 해에 따라 휴리스틱인 AZP의 결과가 달라 질 수 있다(Church, 2002). 또한 최적해로의 수렴시간에 영향을 줄 수 있다. 따라서 좀 더 유의미한 방식으로 초기 해를 선택하는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 무작위로 선택된 m 개의 시도 지역과 단위 지역 사이의 인구 가중 네트워크 거리의 합을 최소화하는 p-median 문제를 적용하여 초기 해를 생성하였다. 초기 해의 생성을 위하여 Teitz and Bart(1968)의 교환 알고리즘(Interchange Algorithm)을 이용하였다.

셋째, AZP에서 단위 지역의 이동 과정에서 연속성 제약조건을 어떻게 유지하는가 이다. AZP의 이동은 동일 구역 내의 연속성 제약조건을 위반할 수 있다. 따

라서 이동이 발생할 경우 연속성 조건을 위배하는지 여부를 판단하는 과정이 필요하다. 연속성은 임의로 선택된 단위 지역에서 구역 내의 다른 모든 단위 지역으로의 이동이 가능할 때 확보된다. 이러한 연속성 제약조건 위반 여부 확인을 위하여 이동되는 단위 지역을 제외한 동일 구역에 할당된 단위 지역들을 대상으로 신장 트리(spanning tree)를 생성한다. 이를 위하여, 먼저 1) 동일 구역 단위 지역 중 임의로 루트를 선택한다. 2) 루트와 직접 인접한 단위 지역을 트리에 추가한다. 3) 인접 지역 노드에 직접 연결된 단위 지역을 트리에 추가한다. 4) 더 이상 인접한 단위 지역이 없을 때까지 3의 과정을 반복한다. 신장 트리가 모든 단위 지역을 포함하면 연속성 제약조건을 만족시키는 것이

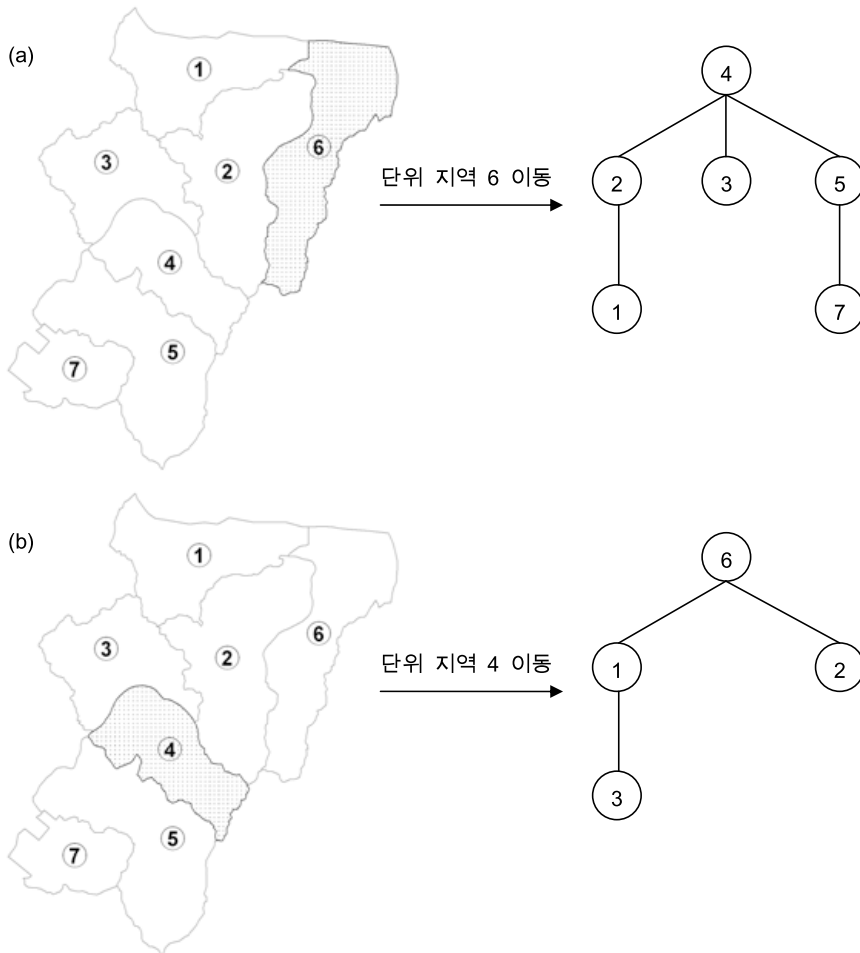


그림 2. 연속성 확인을 위한 신장 트리

고, 그렇지 않으며 조건에 위배된다. 그림 2는 이러한 연속성 확인 알고리즘을 개념적으로 보여주고 있다. 그림 2(a)의 경우 단위 지역 6이 제거되더라도 트리어서 임의로 선택된 단위 지역에서 다른 모든 단위 지역으로 이동이 가능하기 때문에 연속성 제약조건을 만족시킨다. 그러나 그림 2(b)의 경우, 단위 지역 4가 제거됨으로써 트리는 단위 지역 5와 7을 포함하지 않기 때문에 연속성 제약조건을 만족시키지 못한다. 이러한 경우 단위 지역 4는 이동되어서는 안 된다.

넷째, 목적함수 대안 3(각 구역 내에서의 순회경로의 합 최소화)의 값을 계산하는 문제이다. 이는 구역의 수만큼 순회판매원문제를 푸는 것으로, 순회판매원 문제에 대한 다양한 휴리스틱 기법들이 개발되었지만 본 연구에서는 휴리스틱 중 가장 간단한 형태인 그리디 알고리즘(greedy algorithm)의 일종인 최근린 휴리스틱을 이용하였다. 이 알고리즘은 다음과 같은 절차를 통하여 순회경로를 생성한다. 1) 동일 구역 내의 임의의 단위 지역 x 를 선택한다. 2) 단위 지역 x 로부터 가장 가까운 단위 지역 y 를 찾는다. 3) 순회경로에 포함되지 않으면서 단위 지역 y 에 가장 가까운 점을 찾는다. 4) 모든 단위 지역을 포함할 때까지 3의 과정을 반복한다. 5) 첫 번째 단위 지역과 마지막 단위 지역을 연결한다. 이러한 알고리즘을 모든 구역에 적용하면 목적함수 대안 3의 값을 빠르게 계산하는 것이 가능하다.

다섯째, 효과적인 목적함수 계산 방법을 개발하는 것이 필요하다. AZP 알고리즘 상에서 단위 지역의 이동은 이동에 관여되는 두 개의 구역에만 변화를 야기한다. 따라서 이동이 발생할 때마다 모든 구역을 대상으로 목적함수를 계산하는 것은 비효율적이다. 계산상의 효율성을 높이기 위하여 AZP 알고리즘은 초기 계획체계에 대한 목적함수 계산과정에서 개별 구역에 대한 부분 목적함수를 계산하여 저장한다. 연속성 제약 조건 하에서 이동이 가능할 경우 이동에 관여 되는 두 구역에 대해서만 부분 목적함수를 계산한 후 이들을 포함한 이미 계산된 다른 구역의 부분 목적함수를 합산하여 최종 목적함수를 계산한다.

5. 사례 연구

1) 사례지역 및 데이터

위에서 제시된 방문 의료서비스 구역 설정 모델 및 GIS 환경에서 구현된 AZP를 경기도 여주군의 방문보건사업에 적용하였다. 여주군은 2005년 기준 노년층 인구비율이 14%로 고령 사회 단계에 있고, 유소년층 인구에 대한 노년층 인구의 비율인 노령화지수는 75로 대도시와 농촌지역의 중간적 성격을 보인다. 여주군의 공공 의료서비스는 여주보건소에서 담당을 하며, 2009년 3월 기준 9개의 보건지소와 13개의 보건진료소를 운영하고 있다. 방문 의료서비스를 제공하기 위하여 지역보건팀을 운영하고 있으며, 각 보건소, 보건지소, 보건진료소에 최소 1명 이상의 방문 의료 인력이 배치되어 있다(여주보건소). 그림 3은 여주군의 공공 의료기관과 그 관할 구역을 보여주고 있다. 기존 관할 구역의 수는 총 23개 이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 보건소를 중심으로 한 공공 의료서비스는 영역성 기반으로 수요자에게 제공되고 있음을 알 수 있다.

분석을 위한 단위 지역은 여주군의 법정리이다. 행정구역 공간 데이터는 상세 행정구역 지도를 수치화하여 생성하였고, 단위 지역의 인구정보의 경우 경기도 청 경기통계의 주민등록인구 중 리별 주요 연령별 인구를 토대로 각 법정리별 총인구 수와 65세 이상 인구 수 정보를 취득하였다. 단위 지역의 총 수는 145개이며, 65세 이상의 노년층 인구는 15,334명이다(2008. 12.31 기준). 그림 4와 5는 연구 지역의 단위 지역과 그들의 65세 이상 인구 인구분포, 관할 구역의 65세 이상 인구의 분포를 각각 보여주고 있다. 관할 구역별 65세 이상 인구의 경우 공간적 변이가 상당히 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 관할 구역 사이의 방문 의료서비스의 업무량이 불균등함으로 의미한다.

영역 내삽법을 수행하는데 필요한 토지이용 정보로 환경부의 중분류 토지피복도(2000)가 이용되었다. 단위 지역의 인구를 토지이용 유형에 따른 가중치(시가화지역=0.9, 농경지=0.1, 그외=0.0)와 면적에 비례하여 토지이용 폴리곤에 할당하였다. 단위 지역별로 인

구정보를 토대로 인구중심점을 산출한 후 인구중심점 사이의 네트워크 거리를 계산하였다. 네트워크 계산을 위하여 국가교통DB센터에서 제작한 교통주제도(2006)를 이용하였다. 그림 6은 단위 지역의 인구 중심점과 연구 지역의 도로망 분포를 보여 주고 있다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 인구중심점은 상대적으로 기저

의 인구분포(취락 분포)를 잘 반영하며, 도로망에 근접하여 위치하는 특징을 보인다.

2) AZP 적용 결과

AZP를 이용하여 방문 의료서비스 구역 설정 모델을

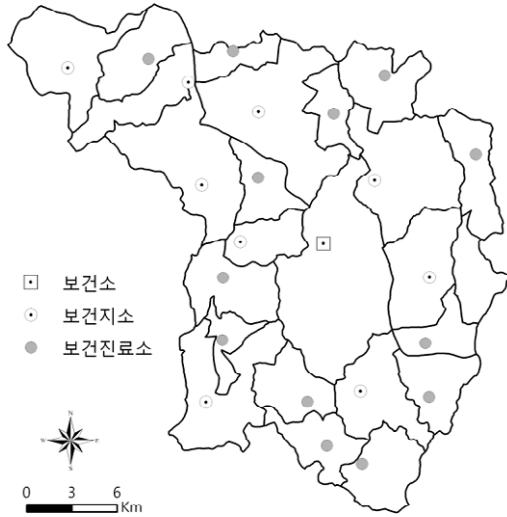


그림 3. 여주군의 공공 의료기관의 분포와 관할 구역(2009)

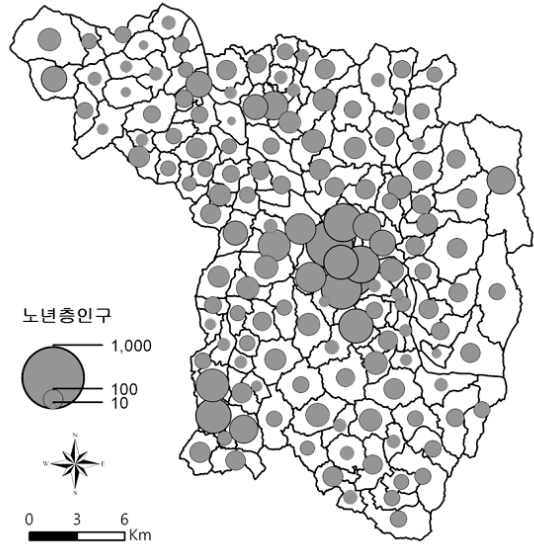


그림 4. 단위 지역의 65세 이상 인구 분포

자료: http://www.gg.go.kr/gg/13001/ggnet/c1/total/page1_2008.jsp

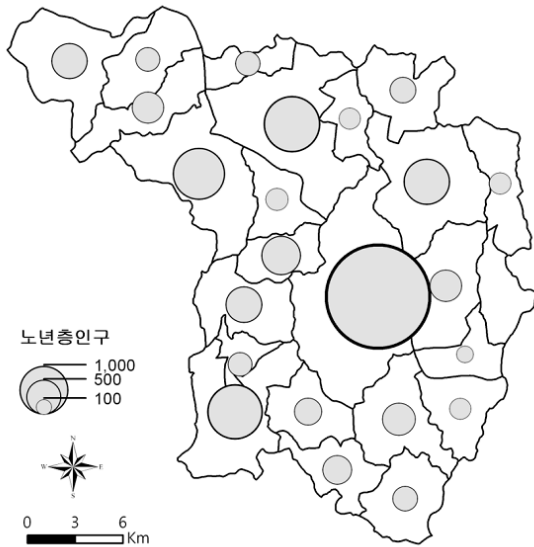


그림 5. 관할 구역의 65세 이상 인구 분포

자료: http://www.gg.go.kr/gg/13001/ggnet/c1/total/page1_2008.jsp

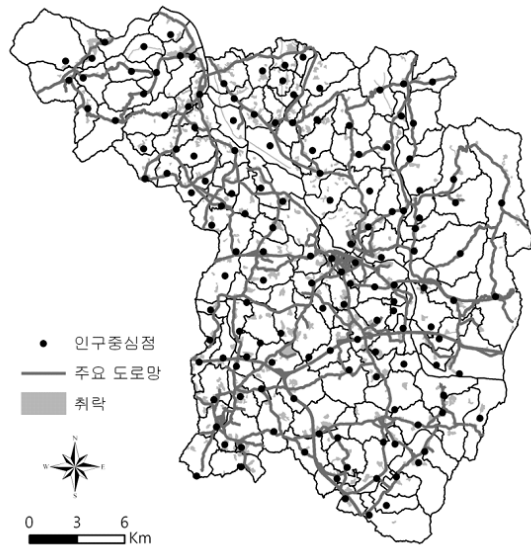


그림 6. 단위 지역의 인구중심점과 도로망

구현하기 위하여 먼저 구획할 구역의 수 m , 65세 이상 인구의 허용 범위 $[l, u]$ 를 결정해야 한다. 구획할 구역의 수의 경우 기존 여주군의 공공의료체계와 동일하게 23개로 설정하였다. 동일한 수의 구역을 설정함으로써 기존 체계와 AZP를 통하여 산출된 구획체계의 직접적인 비교가 가능하다. 한편 개발된 AZP에서는 필요에 따라서 구역의 수를 유연하게 적용할 수 있다. 65세 이상 인구 범위는 업무량 균형을 위한 것으로, 실제 노인 대상 방문 의료서비스의 특성을 고려하여 유연하게 적용하는 것이 가능하다. 본 연구의 초점이 방문 의료서비스 제공을 위한 구역 설정 모델 수립 및 구현 알고리즘을 개발하는 것이기 때문에 임의로 최소값 400명, 최대 값 1800명을 업무량 허용 범위로 설정하였다.

AZP의 입력 데이터는 단위 지역 사이의 네트워크 거리 행렬, 단위 지역 사이의 인접 행렬, 단위 지역의 인구, 65세 이상 인구 등이다. 단위 지역 사이의 네트워크 거리 행렬은 세 개의 목적함수를 계산하는데 사용되고, 인접 행렬은 알고리즘 상에서 연속성 제약조건 만족 여부를 확인하는데 사용된다. 단위 지역의 인구는 네트워크 거리와 함께 공간상호작용 목적함수 계산에 이용되고, 65세 이상 인구는 업무량 균형의 범위 제약조건 설정을 위하여 사용된다. 한편 목적함수 대안 2를 계산하기 위하여 조정 상수 C 와 거리마찰 계수 λ 를 계산해야 한다. 일반적으로 이들 값은 경험적 자료를 바탕으로 통계 분석을 통하여 추정되지만 본 연구의 초점이 아니기 때문에 두 값을 임의로 설정하였다($C = 0.001, \lambda = 2$).

그림 7은 초기 구획체계와 이를 바탕으로 산출된 목적함수 별 구획체계를 보여주고 있다. 초기 구획체계(그림 7(a))를 설정하기 위하여 먼저 23개의 시드를 임의로 선정한 후 시드와 단위 지역 사이의 네트워크 거리의 합이 최소가 되도록 교환 알고리즘을 수행하였다. 알고리즘은 65세 이상 인구 범위와 연속성 제약조건을 만족시키도록 프로그램 되었다. 이러한 초기 구획체계를 바탕으로 세 개의 서로 다른 목적함수를 최적화시키도록 AZP를 수행하였다. 그림 7(b)는 구역 내 단위 지역간의 네트워크 거리의 합을 최소화시킨 결과이고, 7(c)는 구역 내 단위 지역간의 공간상호작용을 최대화한 결과이며, 7(d)는 구역 내 단위 지역 사이를

연결하는 순회경로의 길이를 최소화시킨 것이다. 그림 7을 통하여 개발된 AZP 알고리즘은 연속성 제약조건을 준수하면서 수행되었음을 확인 할 수 있고, 목적함수의 설정에 따라 구획의 결과가 달라짐을 알 수 있다. 한편 그림 8은 개발된 AZP 알고리즘이 이동 회수가 증가하면서 점차적으로 향상된 해를 찾아가고 있음을 보여주고 있다. 이러한 최적해로의 수렴 과정은 AZP가 제대로 수행되었음을 의미한다. 목적함수 대안 1의 경우(그림 8(a)) 39번의 이동이 발생한 후 더 이상 목적함수의 향상이 이루어 지지 않아 알고리즘이 종료되었고, 목적함수 대안 2의 경우(그림 8(b)) 20회, 목적함수 대안 3의 경우(그림 8(c)) 27회의 이동이 있는 후 알고리즘이 종료되었다.

기존 체계, 초기 구획체계 및 각 목적함수 별 구획체계의 비교를 위하여 각 체계 별로 제약조건인 65세 이상 인구, 목적함수인 구역 내 단위 지역간 이동 거리, 구역 내 단위 지역간 상호작용량, 구역 내 단위 지역 순회경로의 길이에 대한 기술 통계량을 산출하였다. 밀집도는 방문 의료서비스 구역 설정에서는 중요한 고려 요소는 아니지만 구획체계별 비교를 위하여 계산하였다(표 1). 기존 체계의 경우 65세 이상 인구는 작게는 121명만을 포함하는 구역이 있는 반면 어떤 구역은 4708명을 포함하여 업무량에서 상당한 불균형을 보이고 있음을 알 수 있다. 초기 구획체계 및 목적함수 별 65세 이상 인구는 모두 허용 범위 안에 있으며, 목적함수 대안 3의 경우 구역간 편차가 가장 작은 것으로 나타나 65세 이상 인구 기준 업무량 균형 측면에서 다른 목적함수보다 좀더 형평성을 보였다. 목적함수 관련 측정치들은 해당 목적함수 대안과 상응하는 형태를 보인다. 구역 내 지역 간 이동을 최소화시키는 목적함수 대안 1의 구획체계의 경우 기존 구획체계와 비교하여 이동 거리를 약 58% 가량 줄였고, 구역 간 이동거리 편차도 가장 작게 나타났다. 구역 내 상호작용의 경우 목적함수 대안 2의 결과는 기존 체계에 비하여 상호작용량이 약 34% 가량 감소하였다. 기존 체계의 경우 많은 수의 단위 지역과 인구를 포함하는 구역이 존재하여 상대적으로 큰 상호작용량을 갖는다. 목적함수 대안 1의 구획체계는 최적의 해는 아니지만 목적함수 대안 2의 결과와 크게 차이가 나지 않음을 확인할 수 있다.

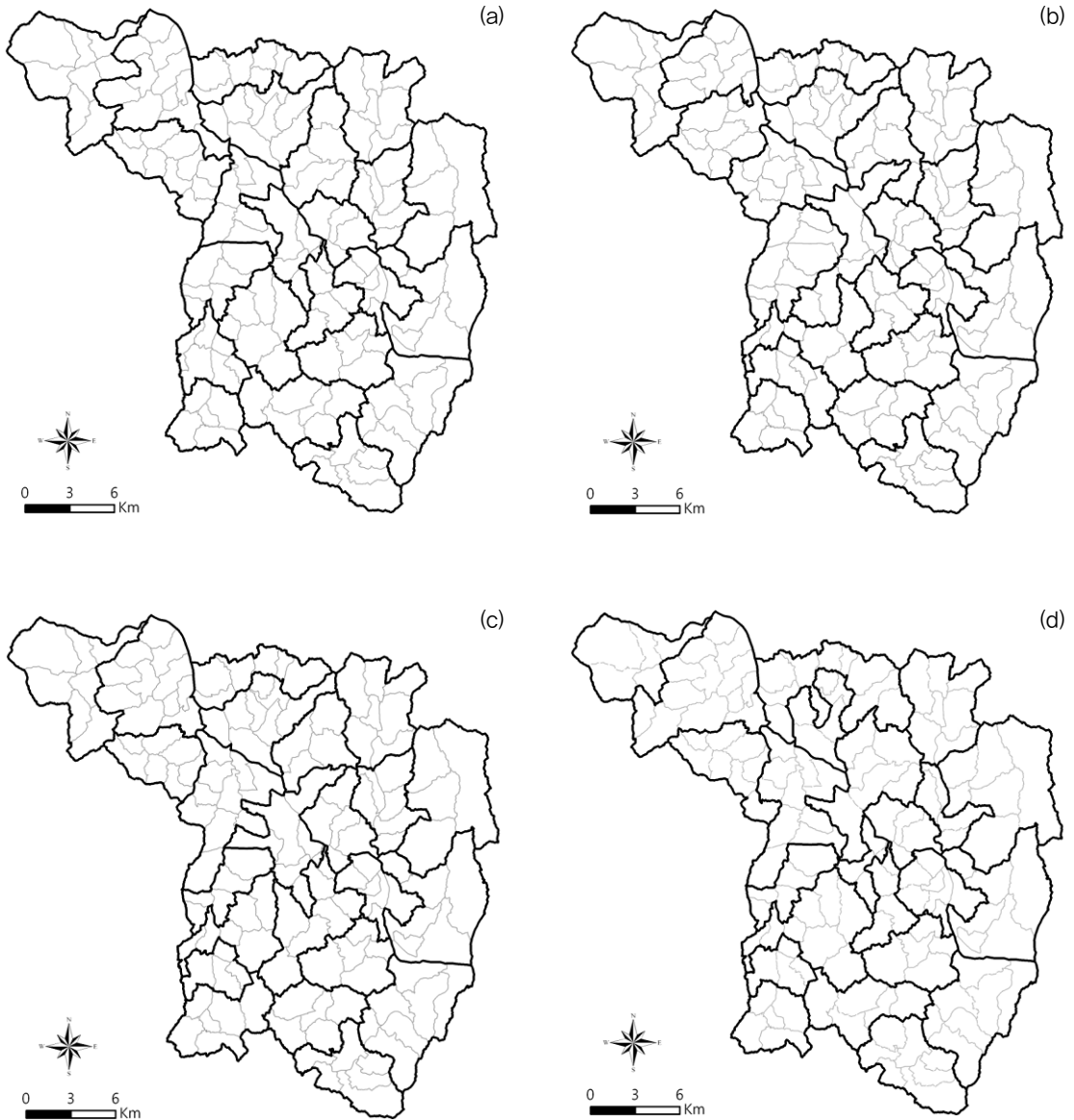


그림 7. AZP의 초기 해 및 각 목적함수에 대한 구획 결과

($m=23$, $400 \leq 65$ 세 이상 인구 $\leq 1,800$)

(a) 초기 해, (b) 목적함수 대안 1의 해, (c) 목적함수 대안 2의 해, (d) 목적함수 대안 3의 해

구역 내 단위 지역을 연결하는 순회경로 길이를 최소화하는 목적함수 대안 3의 구획체계는 기존 체계에 비하여 순회경로 길이를 21% 정도 감소시키는 효과를 가져왔다. 그러나 다른 목적함수 대안의 결과와 비교하

여 구역 간 순회경로 길이의 편차가 상대적으로 크게 나타났다. 목적함수 대안 1의 결과는 목적함수 대안 3의 결과와 차이가 크지 않고, 편차 또한 작음을 알 수 있다. 세 개의 목적함수 측정치만을 고려해 볼 때 목적

표 1. 기존 체계, 초기구획과 대안 목적함수를 갖는 AZP 결과 비교

구분		기존체계	초기구획	목적함수 대안 1	목적함수 대안 2	목적함수 대안 3
65세 이상 인구 (명)	최소값	121	418	418	418	414
	최대값	4,708	1,532	1,798	1,733	1,461
	평균	666	666	666	666	666
	표준편차	928	298	356	383	285
구역 내 지역간 이동 (km, %)	합계	8,685.16	4,308.48 (-50.39)	3,625.14 (-58.26)	4,015.36 (-53.77)	4,835.26 (-44.33)
	최소값	0	29.46	49.08	29.5	29.46
	최대값	3,800.06	609.00	390.80	569.32	927.02
	평균	377.61	87.32	157.61	174.58	210.22
	표준편차	797.59	134.37	87.30	131.20	227.52
구역 내 상호작용 (%)	합계	3,387.13	2,151.46 (-36.48)	2,173.20 (-35.84)	2,251.07 (-33.54)	1,919.36 (-43.33)
	최소값	0	5.62	5.62	5.62	6.05
	최대값	2,396.36	525.90	548.787	580.57	383.89
	평균	147.26	93.54	94.48	97.87	83.45
	표준편차	483.62	116.46	124.51	126.40	92.64
구역 내 순회경로 길이 (km, %)	합계	648.67	586.35 (-9.61)	512.83 (-20.94)	530.79 (-18.17)	512.19 (-21.04)
	최소값	0	9.82	11.22	23.07	8.45
	최대값	105.08	63.80	50.9	9.52	60.24
	평균	28.20	25.49	22.29	53.89	22.26
	표준편차	25.72	13.35	8.19	11.10	13.63
밀집도* (%)	평균	1.54	1.73 (12.34)	1.76 (14.29)	1.79 (16.23)	1.84 (19.48)
	최소값	1.25	1.46	1.42	1.39	1.46
	최대값	2.07	2.05	2.54	2.51	2.67
	표준편차	0.22	0.17	0.28	0.27	0.29

* 밀집도(compactness) $S=p/3.54\sqrt{A}$ (p =둘레 길이, A =면적)

함수 대안 1의 구획체계 즉 구역 내 단위 지역 간 거리의 합을 최소화시킴으로써 얻어진 구획체계가 방문 의료서비스 구역 설정에 좀더 적합한 것으로 판단된다.

한편 표 1에서 밀집도의 경우 1에 가까우면 가까울수록 밀집도가 높고, 커지게 되면 밀집도가 감소한다. 기존체계에 비하여 모든 목적함수 대안의 구획체계에 서 밀집도가 증가하였다. 증가 현상은 목적함수 대안 3

의 결과에서 가장 두드러지게 나타나고 있다. 이는 방문 의료서비스 구역 설정 모델이 밀집도보다 네트워크를 통한 이동성을 강조하기 때문에 나타나는 자연스러운 결과로 볼 수 있다.

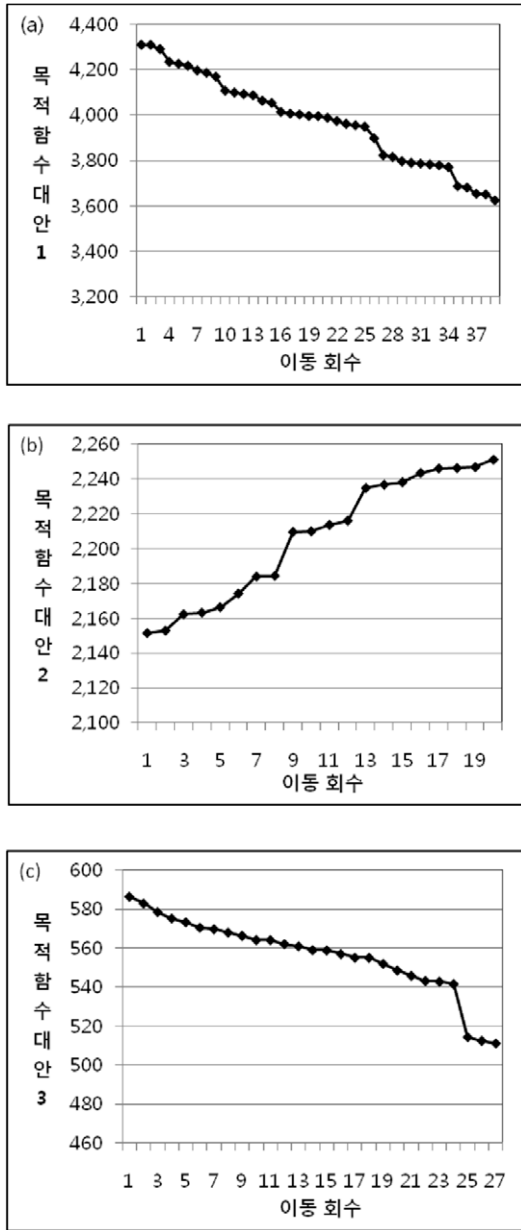


그림 8. 이동에 따른 목적함수 값의 변화

6. 요약 및 결론

농촌 지역의 과소화와 함께 의료서비스에 대한 지리적 접근성의 하락과 노령화에 의한 공공 의료서비스에

대한 수요 증가는 방문 의료서비스와 같은 공공 의료 서비스 제공방법의 근본적인 변화를 요구하고 있다. 변화하는 의료 환경에서 공공 의료기관의 효율성을 향상시키기 위한 혁신적인 접근 방법의 개발이 필요하다. 본 연구는 이러한 변화를 반영하여 입지 모델링 기법을 이용하여 방문 의료서비스 제공을 위한 서비스 구역 설정 모델을 제시하였고, GIS환경에서 개발된 구역 설정 모델을 구현하는 자동구획절차(AZP)를 개발하였다. 구역 설정 모델은 의료서비스 공급자의 이동을 기반으로 하기 때문에 이동성 조건을 목적함수로 취하였고, 구역별 업무량 균형을 맞추기 위하여 65세 이상 노인 인구의 하한선과 상한선을 제약조건에 포함시켰다. 연속성 제약조건은 AZP의 실행과정에서 준수 되도록 하였다. 구역 설정 모델에서 세 가지 서로 다른 목적함수를 고려하였다; 1) 구역 내 단위 지역 간의 네트워크 거리의 합 최소화, 2) 구역 내 단위 지역 간의 공간상호작용 최대화, 3) 구역 내 단위 지역을 순회하는 경로의 길이 최소화.

GIS환경에서 AZP를 효과적으로 구현하기 위하여 다음과 같은 몇 가지 사항을 고려하였다. 첫째, 단위 지역 간 네트워크 거리 계산을 위하여 토지이용을 토대로 한 인구중심점을 산출하였다. 둘째, 휴리스틱 기법인 AZP 해의 유의미성을 높이고 알고리즘의 효율성을 향상시키기 위하여 교환 알고리즘을 이용하여 초기 해를 산출하였다. 셋째, AZP 수행과정에서 단위 지역의 이동이 연속성 제약조건을 준수하는지 여부를 확인하기 위하여 해당 구역의 단위 지역을 이용하여 신장 트리를 구축하였다. 넷째, 목적함수 대안 3을 계산하기 위하여 순회판매원문제의 해를 산출하는데 있어 가장 단순한 기법인 최근린 휴리스틱을 이용하였다. 마지막으로, 빠른 목적함수 값 계산을 위하여 구역 별 부분 목적함수를 사전에 계산하고 이동에 관여된 구역의 부분 목적함수 값 만을 새로 계산하도록 AZP를 설계하였다.

개발된 구역 설정 모델과 AZP를 사례지역에 적용한 분석 결과는 개발된 구역 설정 모델과 AZP 알고리즘이 효과적으로 해를 산출해 주고 있음을 보여주었고 있다. 산출된 구획체계들은 업무량 균형과 연결성 제약 조건을 모두 준수하고 있으며, AZP의 이동 회수가 증

가하면서 목적함수의 값이 점차적으로 최적 해를 향해 수렴하고 있음을 보여주었다. 결과는 또한 목적함수의 설정에 따라 상이한 구획체계가 산출될 수 있음을 보여주었다. 기존체계와 모델을 통하여 산출된 구획체계를 비교한 결과, 개발된 모델의 구획체계는 업무량 균형과 구역 내 이동성 측면에서 향상을 가져왔다. 특히 목적함수 대안 1은 대안 2와 3에 대해서도 상대적으로 좋은 결과를 보여주었다. 한편 개발된 모델을 통하여 산출된 구획체계의 밀집도는 기존체계에 비하여 악화되었는데 이는 밀집도보다 이동성 개념에 기초한 모델의 자연스러운 결과라 할 수 있다.

본 연구에서 개발된 구역 설정 모델 및 AZP 알고리즘은 구역의 수, 제약조건이나 목적함수의 조건을 유연하게 적용하는 것이 가능하기 때문에 방문 의료서비스를 위한 구역 설정에 다양한 대안을 제시할 수 있다. 이러한 결과는 공공 의료서비스 제공과정에서 발생하는 공간의사결정과정에 효과적으로 이용될 수 있다. 또한 개발된 모델 및 알고리즘은 방문 의료서비스 구역 설정뿐만 아니라 학군 설정, 행정 구역 설정, 공공서비스 관할 구역 설정 등의 문제에도 적용 가능하다.

본 연구의 구역 설정 모델 및 AZP 알고리즘은 모델링과 알고리즘에서 몇 가지 개선할 점이 있다. 첫째, 본 연구에서 업무량을 65세 이상 노인인구로 상정을 하였는데, 노인인구뿐만 아니라 노인인구의 의료서비스에 대한 상이한 요구 수준을 고려한다면 좀더 현실에 부합하는 모델이 될 것이다. 둘째, 본 연구에서 개별 구획은 동일한 수준의 의료서비스를 제공한다고 가정하였는데, 현실적으로 공공 의료서비스는 계층성을 갖는다. 예를 들어, 우리나라의 보건소 중심 공공 의료서비스의 경우, 보건소, 보건지소, 보건진료소는 활용 인력이나 제공되는 서비스 수준이 상이하다. 따라서 향후 이러한 구역별 방문 의료서비스 제공 기관의 계층성을 고려하여 모델을 개발하는 것이 필요하다. 셋째, 본 연구에서 개발된 AZP 알고리즘은 휴리스틱 기법으로 알고리즘을 통하여 산출된 해보다 향상된 결과를 갖는 해가 존재할 수도 있다. 즉, 개발된 AZP의 해는 국지적 해이고, 이보다 좋은 전역적 해가 존재할 가능성이 있다. 따라서 국지적 해가 아닌 전역적 해를 찾도록 검색과정을 개선하는 메타 휴리스틱 알고리즘을

개발하는 것이 필요하다. 마지막으로, 구역 설정 과정에서 시드와 업무량의 허용 범위 설정을 달리하였을 때 분석의 결과가 어떻게 달라지는지 민감도 분석을 수행하는 것이 필요하다.

참고문헌

- 강영옥 · 윤은주 · 정재희, 2007, “소지역 통계구역 확정방안 연구,” 한국도시지리학회지, 10(1), 15-36.
- 건설교통부, 2007, GIS 기반 소지역 통계집계 공표구역의 획정 및 관리방안 연구, 2006년도 국가GIS 지원 연구.
- 국가교통DB센터, 2006, 2006년도 교통주제도.
- 김감영, 2007, “방문보건서비스 제공을 위한 순차적 입지-경로설정 접근,” 한국도시지리학회지, 10(3), 41-53.
- 김영화 · 정금화, 2004, “농촌지역 의료서비스의 실태에 관한 연구,” 복지행정논총, 14(1), 47-70.
- 김원진 · 장영기, 2005, “보건소 방문보건사업의 문제점과 개선방안,” 한국거버넌스학회보, 12(1), 117-140.
- 김정화, 2004, “노인의 방문보건사업에 대한 조사 연구,” 보건과 복지, 7, 123-148.
- 박정숙 · 김정남 · 권영숙 · 홍영숙 · 한정화 · 김영아, 2007, “일 지역 취약계층 대상 방문보건사업의 현황 및 평가,” 계명간호과학, 11(1), 49-62.
- 보건복지부, 2006, 2006년도 방문보건사업 운영지침(안).
- 서태열, 1987, “서울시 고등학교의 분포와 학군에 대한 연구,” 지리교육논집, 18, 1-21.
- 이상일 · 김감영, 2007, “GIS-기반 대시메트릭 매핑 (dasymetric mapping)기법을 이용한 서울시 인구 밀도 분포의 재현,” 한국지도학회지, 7(2), 53-67.
- 이인숙, 2006, “건강형평성 보장을 위한 방문보건사업 발전방향,” 2006 방문보건사업 활성화 심포지엄, 1-18.
- 이태화, 2004, “도시 저소득층 만성질환노인을 위한 보건소 방문간호서비스의 경제성 분석,” 대한간호학회지, 34(1), 191-201.
- 이희연, 2005, 인구학: 인구의 지리학적 이해, 법문사.
- 최영출 · 양덕순 · 최외출, 2007, “지역균형발전의 주요 이슈분석과 정책적 시사점,” 도시행정학보, 20(2), 3-

- 27.
- 최운식 · 윤성희, 1995, "GIS를 이용한 학군 설정의 시론적 연구—종로구 국민학교 학군을 중심으로," *대한지리학회지*, 30(3), 311-323.
- Alexy, B. B. and Elnitsky, C. A., 1998, Rural mobile health unit: outcomes, *Public Health Nursing*, 15(1), 3-11.
- Blais, M., Lapierre, S. D., and Laporte, D., 2003, Solving a home-care districting problem in an urban setting, *Journal of the Operational Research Society*, 54, 1141-1147.
- Bozkaya, B., Erkut, E., and Laporte, G., 2003, A tabu search heuristic and adaptive memory procedure for political districting, *European Journal of Operational Research*, 144, 12-26.
- Browdy, M. H., 1990, Simulated annealing: an improved computer model for political redistricting, *Yale Law and Policy Review*, 8, 163-179.
- Chahed, S., Marcon, E., Sahin, E., Feillet, D., and Dallery, Y., 2009, Exploring new operational research opportunities within the home care context: the chemotherapy at home, *Health Care Management Science*, 12, 179-191.
- Church, L., 2002, Geographical information systems and location science, *Computers and Operations Research*, 29, 541-562.
- D'Amico, S. J., Wang, S. J., Batta, R., and Rump, C. M., 2002, A simulated annealing approach to police district design, *Computers and Operations Research*, 29(6), 667-684.
- Ghiggi, G., Puliafito, P., and Zoppoli, R., 1976, A combinatorial models for health-care districting, *Lecture Notes in computer Science*, 40, 116-130.
- Hakimi, S. L., 1964, Optimal location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, *Operations Research*, 12, 450-459.
- Hertz, A. and Lahrichi, N., 2009, A patient assignment algorithm for home care services, *Journal of the Operational Research Society*, 60(4), 481-495.
- Hess, S. W., Weaver, J. B., Siegfeldt, H. J., Whelan, J. N., and Zitlau, P. A., 1965, Non-partisan political redistricting by computers, *Operations Research*, 13, 998-1006.
- Hojati, M., 1996, Optimal political districting, *Computers and Operations Research*, 23(12), 1147-1161.
- Malczewski, J. and Ogryczak, J., 1988, A multiobjective approach to the reorganization of health-service areas: a case study, *Environment and Planning A*, 20(11), 1461-1470.
- Martin, D., 1998, Optimizing census geography: the separation of collection and output geographies, *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7), 673-685.
- Mehrotra, A., Johnson, E. L., and Nemhauser, G. L., 1998, An optimization based heuristic for political districting, *Management Science*, 44(8), 1100-1114.
- Novaes, A. G., de Cursi, J. E. S., de Silva, A. C. L., and Souza, J. C., 2009, Solving continuous location-districting problems with Voronoi diagrams, *Computers and Operations Research*, 36, 40-59.
- Oliveira, M. D. and Bevan, G., 2006, Modelling the redistribution of hospital supply to achieve equity taking account of patient's behaviour, *Health Care Management Science*, 9, 19-30.
- Openshaw, S. and Rao, L., 1995, Algorithms for reengineering 1991 Census geography, *Environment and Planning A*, 27(3), 425-446.
- Openshaw, S., 1977, A geographical solution to scale and aggregation problems in region-building, partitioning, and spatial modelling, *Transactions of the Institute of British Geographers*, New Series 2, 459-472.
- Palladini, S., 2004, Arcobjects development in zone design using visual basic for applications, *Lecture Notes in Computer Science*, 3044, 1057-1068.
- ReVelle, C. S. and Swain, R. W., 1970, Central facilities location, *Geographical Analysis*, 2, 30-42.
- Schilling, D. A., Jayaraman, V., and Barkhi, R., 1993, A review of covering problems in facility location, *Location Science*, 1(1), 25-55.
- Schoepfle, O. B. and Church, R. L., 1991, A new network representation of a "classic" school

districting problem, *Socio-Economic Planning Science*, 25(3), 18-197.

Teitz, M. B. and Bart, P., 1968, Heuristic methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph, *Operations Research*, 16, 955-961.

Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., and Bergman, L., 1971, The location of emergency service facilities, *Operations Research*, 19, 1363-73.

Williamns Jr., J. C., 1995, Political redistricting: a review, *Papers in Regional Science*, 74, 13-40.

Zoltners, A. A. and Sinha, P., 1983, Sales territory alignment: a review and model, *Management Science*, 29(11), 1237-1256.

http://www.gg.go.kr/gg/13001/ggnet/c1/total/page1_20

08.jsp

<http://www.kosis.kr>

<http://www.yejuhealth.go.kr>

교신: 신정엽, 151-742, 서울특별시 관악구 관악로 599, 서울대학교 사범대학 지리교육과(이메일: geoshin@snu.ac.kr, 전화: 02-880-4060)

Correspondence: Jungyeop Shin, Department of Geography Education, College of Education, Seoul National University, 599 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 151-742, Korea(e-mail: geoshin@snu.ac.kr, phone: +82-2-880-4060)

최초투고일 09. 11. 13

수정일 09. 12. 03

최종접수일 09. 12. 04