

GIS 기반 중첩기법을 이용한 소방서비스 취약지역 분석 Vulnerability Analysis on Fire Service Zone using Map Overlay Method in GIS

이슬지¹⁾ · 이지영²⁾
Lee, SeulJi · Lee, Jiyeong

Abstract

Fire stations should be located in optimal location to act quickly in case of emergency and minimize damages as a public facility that protects life and property of local residents. Siting fire stations without regard for the accessibility and occurrence factors of an accident may provide fire service unequally. Therefore service analysis is necessary to reduce the blind spot of disaster and safety and to offer equal fire-service at this time. Especially fire stations can service more efficiently than before by reducing a more likely vulnerable area. This study suggests methods of mapping index of value that represents vulnerability of the occurrence of an accident and extracting service zone map of fire stations, as an initial research for offering efficient fire service. Geographical distribution mismatch between service zone map and vulnerability map is figured out and vulnerable area for fire service is defined by using map overlay method.

Keywords : Fire Service, Siting Fire Stations, Overlay Analysis, Service Zone, Vulnerability, Indexing.

초 록

소방서는 지역주민의 생명과 재산을 지키는 중요한 공공기반시설로 화재발생시 신속하게 대응하여 피해를 최소화할 수 있도록 최적의 입지에 위치해 있어야 한다. 하지만 접근성과 재난발생요소들을 고려하지 않는 소방서 입지는 편중된 소방서비스를 야기할 수 있다. 따라서 재난안전 사각지대 해소 및 소방서비스의 균등한 제공을 위해 효율적인 소방서 입지를 위한 서비스 분석이 필요하다. 특히 재난의 발생 가능성이 높은 취약지역을 최소화함으로써 효율적인 소방서비스를 제공하여야 한다. 본 연구에서는 효율적인 소방 서비스 제공을 위한 기초연구로서, 화재 등 재난발생의 취약성을 나타내는 값을 색인화한 지도와 소방서의 서비스지역을 나타내는 지도를 도출하는 방법을 제시한다. 중첩분석을 통해 서비스 지역을 나타내는 지도와 취약성을 나타내는 지도 사이의 공간적 분포의 불일치를 파악하고, 소방서비스의 취약지역을 도출한다.

핵심어 : 소방서비스, 소방서 입지, 중첩분석, 서비스-존, 취약성, 색인화

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

시설물의 입지를 분석하기 위해서 일반적으로 상권분석을 사용한다. 여기서 상권은 시설물의 종류, 규모 등에 따라 분석방법이 달라진다. 입지 분석에서 그 대상이 공공 시설물이 될 경우에는 지역주민의 균등한 서비스 제공을 기본으로 하며, 그 중에서도 소방서는 재난발생시 신속한

대응으로 피해를 최소화 할 수 있도록 최적의 입지에 위치해 있어야 한다.

현재 서울시의 소방서는 자치구를 기준으로 한 개의 소방서에 5개 이하의 안전센터설치가 가능하고, 화재를 포함한 각종 재난발생시 실제 구조 활동은 119안전센터에서 담당한다. 서울시의 안전센터 위치를 보면 지역단위의 인구 밀도 등의 실질적인 수요를 고려하지 않은 경우가 대다수이고, 행정편의에 따라 인접 행정동을 관할구역으로 설정

1) 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정(E-mail:lsj228@uos.ac.kr)

2) 교신저자 · 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수(E-mail:jlee@uos.ac.kr)

하여 배치되어 있다. 이로 인해 소방서비스의 사각지대가 발생하거나 편중된 소방서비스가 발생하게 된다.

119안전센터의 경우에는 소방서비스의 수요가 급증한 경우 해당지역마다 소방서를 추가로 설치할 수 있을 뿐 아니라 소방서의 재건축과 안전센터 이전이 계획·실시되고 있다. 따라서 119안전센터가 추가 신설되거나 이전될 수 있다는 사실에 근거하여 소방서비스를 분석하여야 한다. 또한 서비스의 공급자가 이동의 주체가 되어 서비스를 제공하기 때문에 실제 수요자인 지역 주민과의 접근성이 매우 중요하다. 이동의 기초가 되는 출동로인 도로망을 중심으로 접근성을 고려한 서비스제공 범위 설정이 필요하다. 이와 함께 서비스 공급을 발생시키는 요소, 즉 소방관서의 입지조건이 되는 인구밀집도, 건물의 수, 화재위험도 등의 위험요소를 고려하여 최적의 위치에 입지하여야 한다.

따라서 소방서의 입지 결정을 위한 기초연구로서, 소방서비스의 취약지역을 도출해내는 것을 본 연구의 목적으로 한다. 접근성을 고려한 효율적인 서비스를 제공받는 지역과, 위험요소를 고려한 재난발생의 위험도가 높은 지역 찾고, 소방서비스-공급 지역과 소방서비스-수요지역의 중첩분석으로 공간적 분포에서 불일치가 일어나는 취약지역을 도출해내는 방법을 제공한다.

1.2 관련연구

공공시설물의 입지에 관해서는 입지모형의 이론적인 연구와 함수로서 모형적립의 연구(Hakimi, 1964; Teitz, 1968; Toregas, 1971; Church 등, 1974)에서부터 다양한 연구가 이루어졌다. 그 중 Toregas(1971)에서 제안한 시설입지모형은 set covering location model로서 정해진 시간 내에 모든 수요지점들에 충분히 서비스를 제공할 수 있는 시설의 수를 찾는 모형으로 입지모형식은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_{j=1}^n x_j, \\ \text{제약조건, } \sum_{j=1}^n x_j &\geq 1. \quad x_j(\text{포괄계수}) = (0, 1) \end{aligned} \quad (1)$$

지점 j에 대하여 수요지점에서부터 서비스를 공급하는 시설의 개설여부를 0 또는 1값으로 포괄계수(x_{ij})를 할당함으로써 서비스의 수요지점에서 서비스를 이용할 수 있는 시설수의 최소값 MinZ를 찾고 그 입지를 찾는 입지모형이다. 위 입지모형에서 한정시간 내에서는 서비스의 가치가 거의 변화하지 않지만 그 범위를 넘어서면 급격히 감소

함을 가정한다.

위 모형에서 서비스 범위를 설정 시에 접근성과 서비스에 영향을 미치는 요소들을 고려하는 방법을 추가한 연구로서 최적후보지와 관련하여 김황배 등(2006)은 접근성 평가 지표 분석을 통하여 공간거리의 연산방법을 정립함과 동시에 접근성평가 모형을 정립하였다. 이용자의 총 통행시간최소모형인 접근성모형을 수식화하면 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min } Q(z) &= \sum(\text{인구그리드}) \times (\text{CostDistance})_i \\ \text{CostDistance: } & i \text{ 후보지의 누적통행시간} \end{aligned} \quad (2)$$

이용자와 도시시설 간의 총 통행거리의 합을 최소화하는 지점을 찾기 위해 이용되는 공간적 효율성 지표를 적용한 모형으로, 통행거리 대신 도로망의 통행시간을 시설과 이용자의 거주지 총 누적통행시간(CostDistance)을 적용한다는 차별성이 있다. 본 연구에서도 서비스수준 분석에서 유클리드 거리가 아닌 도로망의 접근성을 고려한 네트워크 데이터를 이용하여, 거리에 대한 누적통행시간(한정거리)을 사용하였다.

소방관서의 입지요건이 되는 여러 요소들을 공간적 분석에 이용하기 위해서는 각 요소 값들을 정량화시켜주어야 한다. 위험요소들의 특징을 부여하는 연구는 Hewitt 등(1971)에서 처음 시도되어 특정 사건의 발생과 손실 정도를 규정하는 위험조건들을 생·물리학적 취약성으로 정의하였다. 이는 Cutter 등(1989)에서 발전되어 특정 위치에 대한 위험요소의 패턴을 부여하는 연구가 되었고, 재해가 일어나기 쉬운 곳을 위험지역이라는 개념으로 발전시켰다. Cutter(1996)의 연구에서는 생·물리학적 위험뿐만 아니라 사회적 취약성까지 결합한 종합적인 취약성 모델을 제시하였고, 이는 그림 1과 같다.

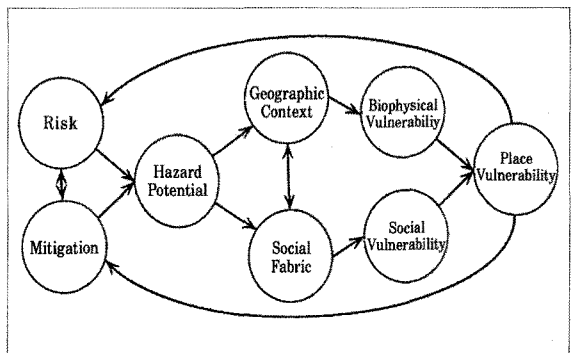


그림 1. The hazards-of-place model of vulnerability (Cutter 1996)

취약성 모델에 따라 생·물리학적 취약성 지도와 사회적 취약성 지도를 만들고 두 지도를 중첩하여 하나의 종합적인 취약성 지도를 만드는 과정이다. 자연재해의 종류별로 나누어진 레이어들을 중첩하여 교차된 개별 폴리곤에 중첩된 레이어의 재해 발생률 값을 더하여 위험점수(hazard score)를 할당하고, 위험점수를 5단계로 나누어 생물물리학적 위험 취약성 지도(biophysical hazard vulnerability map)를 만든다. 같은 방법으로 사회적 취약성의 판별 요소들을 레이어마다 정의하고, 할당된 판별요소의 값들 또한 5개의 카테고리로 재분류하여 사회적 취약성 지도(social vulnerability score map)를 만든다. 2가지로 구분된 취약성 지도의 위험점수를 종합하여 하나의 지역-취약성 지도(Place-Vulnerability Map)를 만듦으로서 자연재해뿐만 아니라 사회적인 요소까지 고려한 취약성을 표현해준다. 본 연구에서도 위험요소들을 결합하여 하나의 공간적인 취약성을 얻는 취약성 모델 방법에 기초하여 정량화된 소방서비스 취약성을 지도화하였다.

시설물의 입지 연구에서 있어서 서비스의 제공과 수혜의 공간적인 관계를 분석하는 연구로서 Kain(1968)에서 공간적 불일치(spatial mismatch)라는 개념을 최초로 도입하였다. 주거지와 직장의 공간적 불일치가 실적을 초래한다는 가정을 제시하였고, Gobillon 등(2003)에 의해서 가정을 이론으로서 공간적 불일치에 의한 악영향을 공간적 거리로 증명하였다.

이를 응용하여 Mi-Ae Bae(2007)의 연구에서는 빈곤계층과 사회복지서비스 시설간의 입지적 불일치가 상대적으로 복지서비스 공급에 있어서 과잉 및 과소지역을 초래함을 보였다. 이는 공간적 이동성으로 발생하는 공간적 불일치를 이동성이 없는 시설과 공간수요와의 근접성으로 공간적 불일치를 초래함을 보여준 연구이다. 본 연구에서도 소방서비스의 수요와 소방서비스 시설간의 입지적 불일치가 소방서비스 공급의 사각지대를 발생시키는 것으로서 공간적 불일치의 개념의 일부분을 적용하여 소방서비스 수준을 분석하였다.

2. 방법론

2.1 개요

본 연구에서는 소방관서의 입지를 위한 기초연구로 공간정보데이터와 통계데이터를 이용하여 분석을 수행하였다. 도로망 데이터로 네트워크 데이터를 만들고, 네트워크 분석으로 서비스-존을 지도화한다. 또한 Cutter(1996)의 취약성 모델을 적용하여 소방서비스의 위험요소들을 취

약성을 나타내는 하나의 취약성 지도로 지도화한다. 최종적으로 공간적 불일치 개념을 적용하여 취약지역을 분석하였다. 그림 2는 이러한 방법론의 구현 과정을 순서도로 나타낸 그림이다.

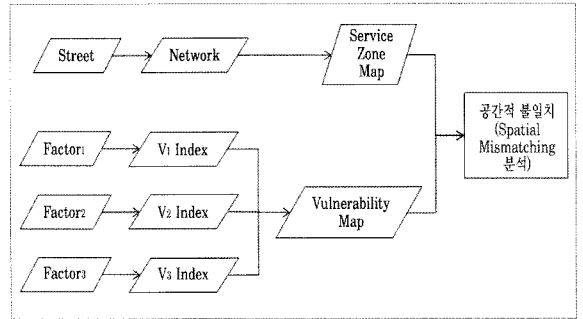


그림 2. 방법론 구현 과정

2.2 서비스-존 지도화

본 연구에서는 소방관서의 입지에서 서비스 제공을 결정하는 접근성을 고려한 서비스 분석을 한다. 소방서비스의 한정거리는 접근성 모형에 근거하여 도로망 네트워크를 따라 그 거리를 계산함으로써 단순 유클리디안 거리가 아닌 도로망을 따라 해당 후보지로부터 이용자 간의 발생거리비용이 서비스 제공범위가 된다.

본 연구에서는 인구 등의 소방관서 입지에 관련된 요소들은 접근성을 나타내는 서비스-존 지도와 별개의 레이어로서 분석하기 때문에 접근성 모형에서 인구를 제외한 접근성모형은 식 (3)과 같다.

$$Min Q(z) = \sum_{j=1}^n (Cost Distance)_i$$

$$= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m d_{ij} x_{ij}$$

i = 소방관서 ($i = 1, 2, \dots, m$)

j = 지역 ($j = 1, 2, \dots, n$)

x_{ij} = j 지역의 i 시설에 대한 한정 거리 포함 여부 (1 또는 0)

d_{ij} = 네트워크상의 거리

(3)

실제 공간정보 데이터를 가지고 서비스-존을 지도화하기 위하여 폴리라인으로 이루어진 도로망데이터를 가지고 네트워크 데이터셋을 생성한다. 하나의 폴리라인이었던 도로망은 교차되는 도로마다 끊어져 방향성을 갖는 도로선과 각 도로선의 교차점 형태로 나뉘어 생성된다.

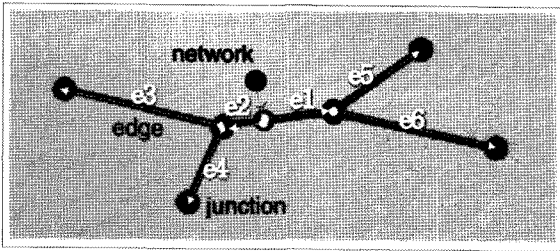


그림 3. 네트워크 데이터 생성

도로망을 따라 각각의 소방관서마다 서비스-존을 설정하기 위해서 소방관서의 x, y좌표를 갖는 소방관서 포인트 데이터를 중심으로 누적통행거리를 설정한다. 그림 3을 보면 소방관서를 인접한 도로망으로 이동시키고 도로선상에 위치한 소방관서로부터 사방으로 연결된 도로선(e)을 따라서 식(3)의 거리 d_{ij} 를 계산한다.

$$d_{ij} = \sum_{x=1}^c e_x < \text{누적통행거리(CostDistance)} \quad (4)$$

c = 누적통행거리안의 총 edge 갯수 ($x = 1, 2, \dots, c$)

식 (4)에서 누적통행거리는 임피던스(Impedance)로서 소방관서를 중심으로 연결된 각 도로선(edge)의 통행거리(e_x)를 누적하여 소방관서로부터 도로망을 따라 서비스가 제공되는 거리(d_{ij})를 구함과 동시에 식(3)에서 한정거리의 포함여부(x_{ij})를 판별하여 최종적으로 서비스-존 지도를 만든다. 지도에서는 각 소방관서로부터 한정거리(누적통행거리)만큼의 통행거리를 범위로 갖는 폴리선이 생성된다.

2.3 취약성 색인 지도화

본 연구에서는 접근성뿐만 아니라 소방관서의 입지를 결정하는 요소들을 고려하여 소방서비스를 분석한다. Cutter(1996)의 취약성 모델을 기초로 하여 소방서비스에 대한 취약성 색인 지도를 설정하고, 이를 위한 데이터로서 공간적 분석에서 가장 보편적으로 활용되고 있는 셰이프 파일을 GIS 레이어로 활용하여 지도화한다.

소방서비스를 발생시키는 재난이 일어나기 쉬운 취약 지점을 판별하는 요소들을 정의하고, 선별된 요소들을 취약성-지도로 공간상에 값을 할당하는 과정은 다음과 같다.

- [1] 취약성을 나타내는 위험요소들을 정의한다.
- [2] 정의된 n개의 위험요소들에 값을 할당한다.

- a. 위험요소 값은 해당 데이터의 폴리선 단위 별로 면적을 나눈 밀도 값을 부여하고, GIS 레이어별로 분류한다.
- [3] 분류된 레이어별로 할당된 값을 재분류하여 색인화한다.
 - a. 모든 위험요소는 면적을 고려한 밀도로서 값을 색인화하였지만 밀도의 단위가 다르기 때문에 같은 개수의 카테고리 클래스를 나누어 색인화한다.
- [4] 각 레이어를 중첩하여 하나의 취약성 색인 지도를 생성한다.
 - a. 지역적 내삽법(면적 가중치 내삽법): 하나의 면적 공간 단위에서 다른 공간 단위로 속성 정보를 얻어내기 위한 방법으로, 본 연구에서 각 레이어의 색인값을 합하기 위하여 사용한다. 하나의 기준 폴리선을 정하고, 얻고자 하는 색인값이 있는 레이어와 기준 폴리선과 교차하여 나누어진 면적비율만큼 색인값을 할당하는 지역적 내삽법 방법을 사용한다.
 - b. 인덱스 오버레이: 각 레이어의 색인값을 중첩하는 방법으로서 한 위치에서의 값을 중첩된 값들에 가중치를 주어 평균을 구하는 방법론이다(Malczewski, 2000). 수식은 식 (5)와 같으며, 본 논문에서는 j지역에서의 값을 같은 단위의 색인값으로 할당함으로써 종합적인 색인 지도를 결정하는 인덱스 오버레이를 적용한다.

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij} X_{ij}}{\sum_{i=1}^n W_{ij}} \quad (5)$$

V_j = j지역 Vulnerability Index

X_{ij} = j지역 Factor i ($i = 1, 2, \dots, n$: 위험요소개수)

W_{ij} = j지역 Factor i 가중치

- c. 각 레이어에서 합쳐진 색인값(V)은 레이어의 개수(n)에 따라 값의 범위가 커지기 때문에 요소별로 분류하여 저장된 레이어의 개수로 나누어준다. 따라서 최종 색인 지도는 각 j지역마다 V_j/n 값을 가진다.

그림 4는 n개의 위험요소들(Factor 1,2...n)을 가지는 GIS 레이어들을 하나의 폴리선 경계 기준으로 색인-지도를 만들기 위하여 중첩하는 모습을 보여준다. 최종 지도에서의 각 폴리선에서는 속성값으로 해당 레이어의 색인값을 갖

고 속성값에 따라 다양한 방법(색, 기호 등)으로 가시화할 수 있다.

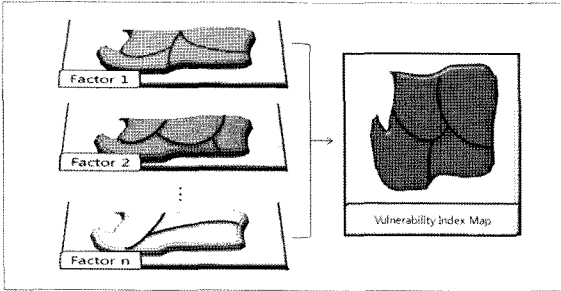


그림 4. GIS 레이어 중첩

2.4 공간적 불일치

기존 공간적 불일치 개념을 적용하여, 본 연구에서 서비스가 이루어지는 지역과 실제적으로 서비스가 필요한 지역의 공간적 불일치로 불균형이 심화됨을 의미하는 공간적 불일치개념을 표현하면 그림 5와 같다. 소방관서를 중심으로 서비스-존 지도는 가장 상단의 서비스 제공 지역을 나타내는 레이어로 나타낼 수 있다. 그리고 위험요소가 정량화된 값으로 표현된 소방서비스 취약성 지도는 중간 서비스 필요 지역 레이어로 나타낼 수 있다. 두 레이어를 같은 위치를 기준으로 중첩하면 서비스 필요지역과 서비스를 공급하는 소방시설 간에 공간적 불일치가 일어나는 지역을 찾을 수 있다. 본 연구에서는 공간적 불일치 지역이 곧 소방서비스 제공의 공간적 범위와 수요 분포와의 괴리를 파악하는 것으로서 서비스사각지대를 찾는 것을 의미한다.

최종적으로 구해진 공간적 불일치 지역 중에서도 색인 값이 높고 소방서비스에 취약하다고 판단되어 지는 지역을 추출하고, 실제 시설이 입지하는 행정동 단위로 위험지역 비율을 가시화함으로써 소방관서가 우선적으로 필요한 행정동을 지도화한다.

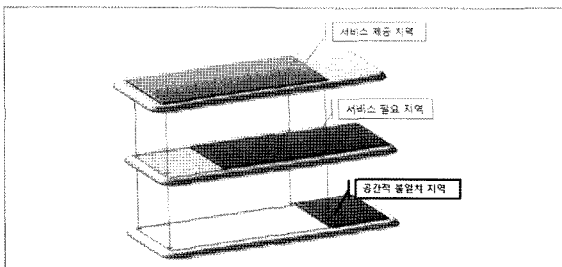


그림 5. 공간적 불일치

3. 사례적용 및 결과 분석

3.1 개요

방법론을 적용하여 실제 서울특별시의 자치구를 사례로 소방서비스의 취약지역을 분석한다. 연구지역으로는 2010년 새로운 소방서가 신설 계획에 있는 강북구와 같은 관할범위에 있는 도봉구로 한정하여 분석을 실시하였다.

2.2절에서 소개한 서비스-존 지도화 방법론에 따라 서울시의 도로망데이터와 소방관서 위치 데이터를 가지고 해당 자치구에 영향을 미치는 최적의 서비스 구역을 도출하여 서비스-존 지도의 레이어를 생성한다. 그리고 2.3절에서 소개한 취약성 색인 지도화 방법론에 따라서 소방서비스 취약성을 결정짓는 위험요소들을 색인화한 취약성 색인 지도 레이어를 생성한다. 위험요소는 소방관서의 입지 조건과 관련통계자료를 이용하여 정의하고, 위험요소를 속성값으로 가지는 GIS 데이터와 소방방재청의 통계자료를 이용하여 지도화한다.

이렇게 생성된 두 가지 지도에 대해서 공간적 불일치 분석을 수행한다. 취약성과 서비스간의 공간적인 불일치가 일어나는 지역을 결과로서 도출한다.

3.2 사례 적용 결과

3.2.1 서비스-존 지도화 적용 결과

서비스-존을 설정하기 위해서 서울시 도로망데이터와 소방관서 위치 데이터를 사용하였다. 화재발생시 소방 활동의 진화개시의 최적점은 발화 시점부터 5분에서 8분 사이이다(소방방재청, 화재진압지침, 56면, 2005). 또한 승용차 또는 버스의 중앙차로를 포함한 서울시 도심 통행속도는 16 km/h~22 km/h(서울시 도시교통본부 교통정보센터, 교통량통계, 2010)으로, 출동시간 5분 동안 서울시에서 일반차량과 같이 평균통행속도로 이동한다고 가정하면, 효율적인 최적의 서비스 제공할 수 있는 서비스범위의 통행 거리는 1.5 km로 설정할 수 있다. 즉, 네트워크를 따라 1.5 km의 한정거리까지 소방서비스 가치가 일정하게 유효한 서비스-존을 추출한다.

한정거리 안에 들어오는 소방관서 중에서 강북구와 도봉구를 포함한 인접 자치구에 위치한 소방관서에 대해서 서비스-존을 각각 폴리곤으로 지도화한다. 그 결과 그림 6을 보면, 8개의 소방관서가 해당지역에 서비스를 제공하는 것으로 나타났다.

각 소방관서에서 최적의 서비스가 제공되는 지역과 제공되지 않는 지역으로 구분한 결과를 보면 표 1과 같다. 최

적의 서비스를 제공받지 못하는 지역(서비스-존 미포함 지역)은 29.84km²로 도봉구와 강북구의 전체면적 44.47km²의 67%를 차지한다. 표 2를 보면 최적의 서비스를 받는 수혜 지역(서비스-존 포함지역)에서도 28%의 지역은 소방서비스가 중복 제공되는 것을 알 수 있었다.

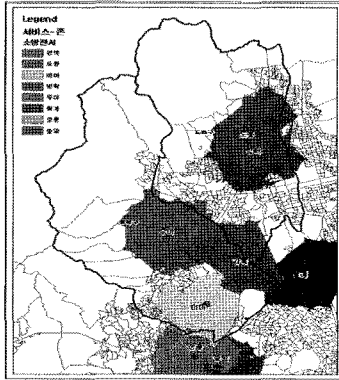


그림 6. 서비스-존 지도

표 1. 서비스-존 면적 및 비율 비교

	서비스-존 포함지역	서비스-존 미포함지역	전체면적
해당 면적(km ²)	14.63	29.84	44.47
면적 비율(%)	33	67	100

표 2. 서비스-존 중복면적 및 비율 비교

	서비스-존 중복지역	서비스-존 미중복지역	서비스-존 전체면적
해당 면적(km ²)	4.10	10.53	14.63
면적 비율(%)	28	72	100

하지만 위의 결과는 단순한 서비스의 제공범위의 포함 여부만을 결정하여 분석한 결과로 소방서비스에 영향을 주는 요소들(토지용도, 인구밀도 등)은 고려되지 않았다. 따라서 소방서비스 취약지역을 분석하기 위해서는 거리비용에 따른 한정거리를 적용한 서비스-존과 위험요소로서 취약성 값(색인)을 가지는 취약성 색인 지도를 통해 중첩분석으로 취약지역의 분석이 필요하다.

3.2.2 취약성 색인 지도화 적용결과

취약성 색인 지도를 만들어 주기 위하여 취약성을 나타내는 위험요소를 선별한다. 소방관서인 119안전센터의 설

치기준을 보면 특별시의 경우에는 인구 5만 명 이상 또는 면적 2km² 이상의 기준(지방소방기관 설치에 관한 규정[별표2])으로 설치가능하다. 위의 법적 설치기준 외에 각 소방서에서는 인구, 건물, 위험도 등을 종합적으로 고려하여 소방관서를 설치한다고 되어있지만 그 기준이 명확하지 않을 뿐만 아니라 실제 입지 선정 시에 고려요소로서 사용되었는지도 확실하지 않다.

소방서비스를 발생시키는 위험요소는 소방관서 설치시 고려요소인 인구, 건물, 위험도로 본다. 즉, 인구, 건물, 화재위험도가 소방서비스를 발생시킬 수 있는 위험요소로 보고 각 요소들을 정량화하여 색인화한다. 이 때 연구지역 내에서는 공공녹지 및 산간지역을 모두 포함하여 색인화한다. 각 위험요소별로 색인화 과정에서 녹지지역이 고려된 값들이 할당되기 때문에 따로 분류하지 않는다. 각각의 색인 지도화 후 취약성을 표현하는 종합적인 하나의 취약성 색인 지도를 만들 수 있다. 본 연구에서는 통계자료를 이용한 위험요소 수치화하는 여러 방법 중에 단위면적을 고려한 밀도값을 적용하여 지도화하였다.

먼저, 각 위험요소를 각 기준에 맞게 수치화한다. 첫 번째, 인구의 경우에는 집계구 단위별 인구밀도의 값을 위험요소1로 정한다. 각 집계구마다 면적이 상이하고 면적이 큰 집계구의 경우에는 서비스-존과의 중첩시에 서비스 포함지역이 나누어질 수 있기 때문에 인구수가 아닌 집계구 면적에 따른 단위면적(km²)의 밀도값으로 정의한다. 각 집계구의 연구지역 내의 인구수의 정보가 있는 서울시 센서스 데이터를 사용하여 각 집계구당 인구밀도(명/km²)를 구할 수 있다. 두 번째, 건물의 경우에는 집계구 단위별로 건물에 대한 밀집도의 값을 위험요소 2로 정한다. 인구밀도와 마찬가지로 단순 건물수가 아닌 단위면적(km²)의 건물밀집도를 사용한다. 수치지도에서 건물 데이터를 추출하고 센서스 데이터의 경계값과 대조하여 각 집계구에 속하는 건물의 개수를 집계하여 개별 집계에 속하는 건물수를 구한다. 그리고 구해진 건물 수에서 해당 집계구의 면적을 나누는 건물밀집도(호/km²)를 구할 수 있다. 세 번째, 위험도의 경우에는 재난발생률의 값을 위험요소3으로 정한다. 공간적인 단위로 재난발생률을 분류하는 통계자료로서 토지용도별 출동건수 통계데이터(서울특별시 소방재난본부 재난대응과)를 사용한다. 토지용도별로 면적이 상이할 뿐만 아니라 최종적인 취약성 색인 지도에서 집계구 단위로 보간하기 위하여 출동건수가 아닌 단위면적(km²)당 출동건수로서 재난발생률을 위험요소로 사용한다. 이는 지역적 보간시 같은 단위에서 분포는 동일함을 가정한다. 토지용

도별 재난 발생 출동건수에서 해당 토지용도면적을 나눈 재난발생률(건/km²)을 구한다.

하나의 색인 지도로 만들기 전에 각 위험요소값을 같은 단위로 통일시킨다. 좀 더 자세한 분석을 위하여 집계구 단위로 통일시킨다. 위험요소3인 토지용도별 재난발생률을 집계구 단위로 보간하기 위하여 다른 경계를 가진 두 폴리

곤의 값을 보간하는 지역적 내삽법을 적용하여 토지용도별 재난발생률을 집계구의 면적비율로 값을 할당한다. 그리고 집계구 단위로 통일된 각 위험요소들의 값을 0부터 8까지 총 9단계로 분류하여 각 단계값을 색인화한다. 여기서 분류하는 방법으로는 기하 간격(geometrical interval)을 사용하였다. 등간격 방법은 한 클래스에 값들이 몰릴 수 있고, 분위수(Quantile)의 경우에는 각 클래스에 같은 개수의 데이터를 할당함으로써 등간격 방법에서 생기는 문제점은 극복할 수 있지만 클래스간의 오인 발생 가능성이 높기 때문에 각 클래스들에 속하는 데이터 값들의 분산을 최소화 시키는 기하간격 방법을 사용하였다.

색인화 결과 인구밀도 색인 지도(그림 7), 건물밀집도 색인 지도(그림 8), 재난발생률 색인 지도(그림 9)가 모두 집계구 단위로 위험요소 값이 0부터 8까지의 9개의 카테고리 로 색인화된 지도가 만들어진다.

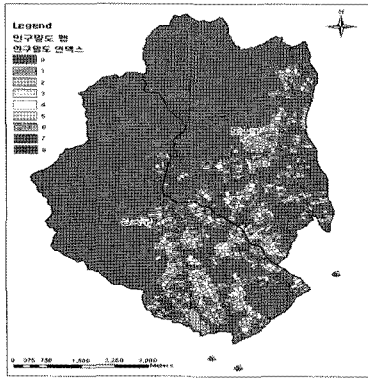


그림 7. 인구밀도 색인 지도

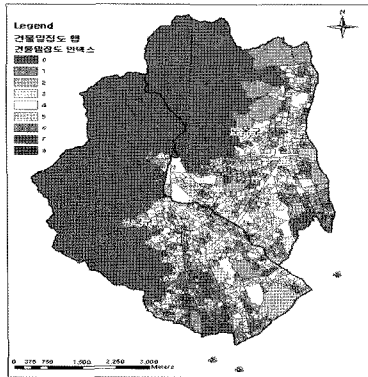


그림 8. 건물밀집도 색인 지도

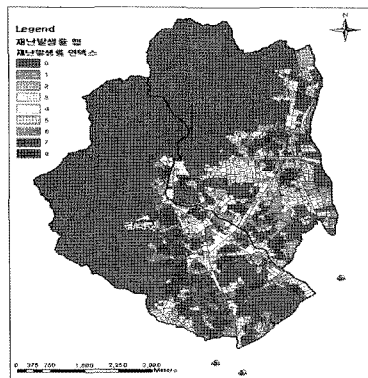


그림 9. 재난발생률 색인 지도

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^3 W_{ij} X_{ij}}{\sum_{i=1}^3 W_{ij}} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_j = j\text{집계구의 취약성 인덱스} \quad [= 0.8] \\ X_{1j} = j\text{집계구 인구밀도 인덱스} \quad [= 0.8] \\ X_{2j} = j\text{집계구 건물밀집도 인덱스} \quad [= 0.8] \\ X_{3j} = j\text{집계구 재난발생률 인덱스} \quad [= 0.8] \\ W_{1j} = j\text{집계구 인구밀도 가중치} \quad [= 1] \\ W_{2j} = j\text{집계구 건물밀집도 가중치} \quad [= 1] \\ W_{3j} = j\text{집계구 재난발생률 가중치} \quad [= 1] \end{array} \right. \quad (6)$$

동일한 단위 · 동일한 색인 범위를 가진 색인 지도는 방법론에서 표기한 인덱스 오버레이 수식인 식 (5)를 이용하여 하나의 색인 값으로 만드는 식 (6)으로 구체화 한다. X_{ij}는 해당 j집계구의 인구밀도, 건물밀집도, 재난발생률 위험요소의 색인 값이며, 세 위험요소는 모두 동일한 가중치로 가정하여 W_{ij}는 모두 1을 할당한다.

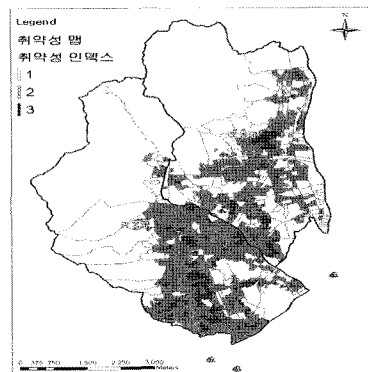


그림 10. 취약성 색인 지도

1195개의 집계구 각각 인덱스 오버레이 결과값으로 3가지 위험요소 색인범위와 같이 0부터 8까지의 색인값을 가지게 되고, 최종적인 취약성 색인 결과를 지도화한다. 공간적 불일치 분석에서 취약성을 고려한 면적 계산 시에 색인을 사용함을 고려할 때 최소값을 1로 맞춤으로써 최종적 색인은 최소 1부터 최대 9까지로 재분류한다. 인덱스 오버레이로 재분류된 취약성 지도에서 취약지역의 분석을 위하여 3단계로 그룹화한 결과는 그림 10과 같다.

표 3. 색인 분포표

색인	개수(n)	면적(km ²)	비율(%)
1	32	24.17	54.36
2	53	3.50	7.87
3	115	3.78	8.49
4	205	3.82	8.59
5	352	4.53	10.18
6	248	2.95	6.58
7	172	1.63	3.67
8	18	0.11	0.26
9	0	0	0

표 3에서 색인별 분포를 살펴보면, 색인 값이 1로서 취약성이 가장 낮은 32개의 집계구는 창동, 방학동, 수유동, 도봉동 중에서도 주로 산간지역이거나 공공녹지로 설정된 지역이다. 때문에 집계구의 개수는 전체 집계구의 2.7%밖에 안 되지만 면적은 약 54.5%를 차지하며, 인구밀도·건물밀집도·재난발생률 색인 지도에서의 색인 값들이 거의 0인 지역임을 확인할 수 있다. 반대로 색인값이 8로서 취약성이 가장 높은 18개의 집계구는 전체면적의 0.3%를 차지하여 그 비율이 높진 않음을 확인하였다. 색인이 5인 집계구는 총 352개로, 전체 집계구의 29.5%로 가장 높은 비율로 나타나지만, 면적 분포를 보면 10%로서 색인 1 다음으로 높은 면적비율을 보이지만 다른 색인과의 차이는 크지 않는 것으로 보인다.

3.2.3 취약지역 분석

연구지역 내의 서비스 수준을 판단하기 위하여 3.2.1 서비스-존 지도화 적용 결과에서 얻은 서비스-존 지도와 3.2.2에서 얻은 취약성 색인 지도를 중첩 분석한다. 즉, 효율적인 소방서비스가 이루어지는 지역과 재난에 대한 취약성을 색인 값으로 나타낸 지도와의 중첩으로 서비스수요

와 서비스공급 사이에 공간적으로 불일치하는 지역을 도출한다.

표 4. 서비스지역·취약지역 색인면적 및 비율 비교

	서비스 지역	취약지역	전체지역
색인면적(i*km ²)	60.33	49.96	110.29
면적 비율(%)	54.70	45.30	100

표 5. 위험지역 색인면적 및 비율 비교

	서비스지역 포함 위험지역	취약지역 포함 위험지역	전체 위험지역
색인면적(i*km ²)	8.59	3.75	12.34
면적 비율(%)	69.61	30.39	100

서비스-존 지도(그림 6)와 취약성 색인 지도(그림 10)를 교차(intersect)하여 서비스-존에 포함되는 서비스지역과 포함되지 못하는 취약지역으로 구분 짓는다. 각 집계구는 해당색인과 집계구 면적을 곱하여 취약성을 고려한 면적을 구한다. 이때 서비스-존 경계에 위치한 집계구의 경우에는 서비스-존에 속하는 부분과 취약지역에 속하는 부분을 분리하여 면적을 구하여야한다. 그 결과, 서비스-존만으로 소방서비스 서비스수준을 분석했을 때는 전체 연구범위 면적 중에 67%가 취약지역으로 분석되었지만, 표 4를 보면 중첩결과 색인값을 고려한 면적(i*km²)은 전체 인덱스 면적 중에 약 45.3%가 효율적인 서비스가 이루어지지 못하는 취약지역으로 분석되었다.

그림 10에서 보듯이 색인 값은 1부터 3까지 그룹화하여 취약성정도를 대표한다. 연구범위 내에서 재난에 취약한 지역과 서비스를 받을 수 있는 지역 간의 공간적 분포의 불일치성을 판단하기 위하여 취약성 값이 높은 지역이라고 판단되는, 즉, 색인이 3단계 지역만을 추출하고 이 지역을 위험지역으로 본다. 위험지역과 서비스지역(서비스-존) 간의 매칭으로 사각지대 발생지역을 판단해본다. 표 5를 보면, 기준치 색인 3이상의 위험지역 12.34(i*km²)중에서 각 소방관서를 중심으로 효율적인 서비스가 제공되는 지역은 8.59(i*km²)이며, 이에 반하여 소방서비스가 커버하지 않는 취약지역은 3.75(i*km²)이다. 이는 다시 말해, 위험지역으로서 소방서비스의 수요가 상대적으로 높은 지역 중에서 30.39%는 소방서비스를 공급받지 못하는 곳으로서 공간적 불일치가 발생됨을 뜻한다.

공간적 불일치가 발생하는 지역에 서비스를 공급하기 위하여 소방관서를 신설하거나 서비스가 중첩비율이 높

은 소방관서를 이전할 수 있다. 동단위로 관할구역을 설정하는 소방관서의 입지 장소의 분석을 위하여, 집계구 단위의 취약지역 색인 지도를 각각 동단위로 그룹화한다. 취약지역이 속하는 행정동은 총 29개이며, 색인값이 3인 위험지역의 비율로 순위를 정할 수 있다. 소방관서 입지 우선순위를 색으로 지도에 가시화한 결과는 그림 11과 같다. 대부분의 행정동에서는 위험지역의 최상위 단계에 해당하는 집계구가 위치하고 있지 않았지만 미아 6·7동은 20%, 창동 2동 및 쌍문 3동은 30%가 넘는 지역이 소방 위험지역이며, 특히 미아 3동과 8동의 경우에는 전체 취약지역 중 절반이 소방 위험지역 집계구로 이루어져 소방서비스가 시급한 지역으로 분석된다.

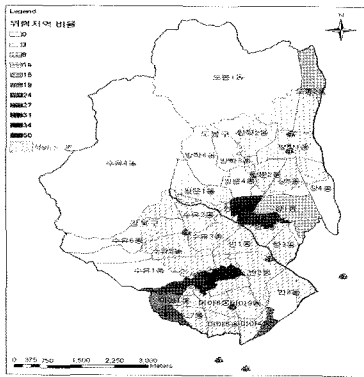


그림 11. 취약지역 행정동 단위 위험도

4. 결론

초고층 건물들과 주택이 밀집되어 있는 서울의 경우에는 화재 등 재난으로 시민의 안전이 노출되어 있기 때문에 신속한 소방서비스 제공의 중요성이 부각되고 있다. 따라서 재난안전 사각지대 해소 및 소방서비스의 균등한 제공을 위해, 효율적인 소방서 입지를 위한 서비스 분석이 필요하다. 본 논문에서는 공공시설물 중 소방관서의 입지를 위한 기초연구로써 현재 소방관서의 소방서비스 수준을 분석하는 방법을 제시하였다.

접근성과 재난발생요소들을 고려하지 않는 소방관서의 입지로 인해 편중된 소방서비스가 발생하였고 이를 극복하기 위해서 접근성을 고려한 네트워크 분석과 위험요소를 고려한 취약지역 분석을 수행하였다. 소방서비스 제공의 경로가 되는 도로망을 따라 각 소방관서를 중심으로 서비스 지역을 설정하고, 소방서비스를 발생시키는 위험요

소에 대한 취약성을 나타내는 취약성 색인 지도와의 중첩 분석을 통해 공간적 불일치 지역을 판별함으로써 소방관서가 필요한 취약지역을 도출해내었다.

그 결과 소방관서를 중심으로 8개의 서비스-존이 연구 범위 내에 위치하였음을 확인하였다. 그리고 소방서비스를 발생시키는 위험요소에 대한 취약성을 하나의 값으로 색인화하여 집계구 단위로 연구지역내의 취약성 색인 지도를 만들었다. 위험요소로는 인구밀집도, 건물밀집도, 토지이용에 따른 재난발생률을 기준으로 색인화하였고, 데이터는 웨이프파일 형식인 센서스 데이터, 수치지도 건물 데이터, 토지이용도 데이터를 이용하여 구하였다.

마지막으로 서비스-존 지도와 취약성 색인 지도의 중첩 분석으로 취약지역과 서비스지역을 구분하고 취약성을 고려한 면적으로 서비스수준을 분석할 수 있었다. 동시에 위험지역과 서비스지역간의 공간적 불일치 지역을 판별함으로써 실제 소방서비스가 시급한 지역을 도출하였다. 이는 소방서비스의 사각지대 및 재난의 취약지역의 정보를 제공함으로써 소방관서의 신설시 입지결정에 이용될 수 있겠다. 본 연구에서는 3가지 기준으로 취약성을 판별하였지만 위험요소가 될 수 있는 기준을 추가하거나 기존의 요소들을 수정함으로써 신설 입지 분석에 따라 취약성 판별을 보완할 수 있겠다.

향후 본 연구를 보완하여 교통량과 도로폭 등의 교통상황에 따른 인자를 추가 적용하여 네트워크 분석의 결과 좀 더 현실적인 서비스범위 설정이 가능하게 할 수 있다. 또한 본 연구에서 사용한 위험요소인 인구밀도·건물밀도·재난발생률이 아닌 인구수·건물수·재난발생건수와 같이 수치화방법을 달리하여 얻어진 결과를 비교할 뿐만 아니라 위험요소를 추가하거나 사용되는 위험요소 값에 가중치를 줌으로써 좀 더 실제적인 취약지역 도출 및 서비스 분석을 할 수 있다. 위험요소에 따라 소방서비스 외에 타 공공기관의 서비스 수준 분석 시 이용할 수 있을 있고 취약지역에 다른 공공시설의 입지결정에도 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

김영, 김경환, 이성용 (2005), 도시지역 공공서비스시설의 수요예측과 적정 입지 평가에 관한 연구, 국토계획, 대한

- 국토·도시계획학회, 제 40권 6호, pp. 51-63.
- 김황배, 김시곤 (2006), 접근성이론과 GIS 공간분석기법을 활용한 행정기관의 입지선정, *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제 26권 3호, pp. 385-391.
- 배미애 (2007), 빈곤계층과 사회복지서비스의 공간적 연계성, *대한지리학회지*, 대한지리학회, Vol.42, No.2, pp. 177-195.
- 서울특별시 소방재난본부 (2010), 2010주요업무계획, p. 53.
- 서울특별시 소방재난본부 (2009), 2009년 서울특별시 구조활동실적, p. 10.
- Church, R. L. and ReVelle, C. (1974), The Maximal Covering Location Problem, *Papers of the Regional Sci. Association*, Springer, Vol.32, No.1, pp. 101-118.
- Cutter, S. L. (1996), Vulnerability to Environmental Hazards, *Progress in Human Geography*, SAGE, Vol.20, No.4, pp. 529-539.
- Cutter, S. L. and Solecki, W.D. (1989), The national pattern of airborne toxic releases. *The Professional Geographer*, Willey Blackwell, Vol.41, pp. 149-161.
- Gobillon, L., Selod, H. and Zenou, Y. (2003), Spatial Mismatch: From the Hypothesis to the Theories, *IZA Discussion Paper*, No. 693.
- Hakimi, S. L. (1964), Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph, *Operations Research*, JSTOR, Vol.12, No.3, pp. 450-459.
- Hewitt, K. and I. Burton (1971), *The Hazardousness of a Place: A Regional Ecology of Damaging Events*, University of Toronto, Toronto, ON, Canada, p.154.
- Kain, J. (1968), Housing segregation, Negro employment, and metropolitan decentralization, *The Quarterly Journal of Economics*, JSTOR, Vol.82, No.2, pp. 175-197.
- Malczewski, J. (2000), On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches, *Transactions in GIS*, Vol.4, No.1, pp. 5-22
- Teitz, M. B. (1968), Toward a Theory of Urban Public Facility Location, *Papers in Regional Science*, Springer, Vol.21, No.1, pp. 35-51.
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergman, L. (1971), The Location of Emergency Service Facilities, *Operations Research*, JSTOR, Vol.19, No.6, pp.1363-1373.