

# 공간 입지-배분(Spatial Location-Allocation) 모형기반의 충청남도 화재 출동거점 선정 연구\*

최돈정\*\* · 박정환\*\*\*

## Analysis of Dispatch Strongpoint for the Fire Accidents Based on Spatial Location-Allocation Model in the Chungnam Province, South Korea\*

Choi, Don-Jeong\*\* · Park, Jeong-Hwan\*\*\*

**요약** : 충남소방본부는 ‘제 10차 소방력 보강 5개년 계획’을 수립하여 2022년까지 소방인력 증원과 출동거점 신설에 관한 정책과 근거를 마련하는 과정에 있으며 데이터 기반의 과학적인 분석을 통해 의사결정 근거를 마련해야 하는 상황이다. 이에 본 연구는 자체 구축한 1:5,000 도로네트워크를 기반으로 공간 입지-배분모형(spatial location-allocation)을 통해 충남도내 화재 취약 집계를 도출하였다. 이를 위해 공간 입지 배분모형의 Minimum Impedance(p-median)와 Maximum Coverage 기준에 의거하여 주거인구, 건축물, 실제 화재사고 발생지점, 등록 소방대상물, 실제 화재사고발생건수의 다섯 가지 입지문제에 대한 분석을 수행하였다. 입지배분 분석결과를 토대로 인덱스 오버레이(index overlay)기법을 활용하여 인자별 화재 취약 집계를 선정 하였다. 최종적으로 현지조사 및 거점지 신청 소방관서 현황분석을 충남소방본부와 종합적으로 검토하여 21개 화재 출동거점 입지 후보지를 선정하였고, 선정된 후보지를 포함한 입지배분모형의 재분석을 통해 개선점을 제시하였다. 본 연구를 통해 ‘제 10차 소방력 보강 5개년 계획’을 수립하여 2022년까지 소방인력 증원과 출동거점 신설에 관한 정책과 근거를 마련하는 과정에 있는 충남소방본부의 의사결정과정에서 긍정적인 정책효과를 기대할 수 있다. 또한 충청남도 소방 행정 분야를 데이터 기반의 과학행정 체계로 전환하는 계기로 작용할 수 있기를 기대한다.

**주요어** : 충남 소방본부, 소방력 보강 5개년 계획, 공간 입지 배분모형, 화재 출동거점

**Abstract** : chunnam fire defense department is aiming at the establishment of the policy for the increase of related human resources and the foundation of new staging bases by 2022 according to the 10<sup>th</sup> Five-year Plan on the Reinforcement of Fire defense service. For this, the policy decision-making should be scientific, or data-based. Therefore, we used the spatial location-allocation model, and discerned census areas vulnerable to fires in Chungnam. The analysis is based on the self-built minute road network. For the achievement, we considered Minimeum Impedance(p-median) and Maximum Coverage of the spatial-allocation model and conducted the locational analysis on the following five variables: the number of residential, the buildings, the physical location of fire accidents, the registered fire facilities, and the number of fires. And then, we used index overlay technique and found individual vulnerable census area patten of each variable. Finally, we examined the results of field surveys and current situation analysis with the fire defense department and selected 21 proposed sites of new firefighting staging bases. These sites were geographically improved through reanalysis. This research can give considerable helping hand for the establishment of the Five-year Plan on the Reinforcement of Fire defense service and this plan will be the base of the pertinent policy-making. This can be an important turning point for the data-based scientific administration system.

**Key Words** : chungnam fire defense department, Five-year Plan on the Reinforcement of Fire defense service, spatial location-allocation model, firefighting staging bases

## 1. 서 론

최근 발생한 제천 스포츠 센터 화재사고(2017.12.21),  
밀양 세종병원 화재사고(2018.1.26)는 소방안전에

\* 본 논문은 2017년 수행한 충남연구원 수탁과제 ‘빅데이터를 활용한 충남 화재 및 구급 출동거점 선정연구’의 내용을 수정·보완한 연구임.

\*\* 충남연구원 미래전략연구단 초빙책임연구원(Senior Researcher, Future Strategy Research Division, Chungnam Institute)(jjolddagoo@cni.re.kr)

\*\*\* 충남연구원 미래전략연구단 연구원(Researcher, Future Strategy Research Division, Chungnam Institute)(parkwaiting@cni.re.kr)

<https://doi.org/10.26863/JKARG.2018.05.24.2.267>

관한 국가적 관심과 대책을 요구하는 계기가 되었다. 또한 데이터 기반의 과학행정(과학행정)은 지역 맞춤형, 수요 응답형 정책수립 등 현재 진행형인 정책 패러다임 변화의 필요요소로 그 필요성에 대한 인식의 저변이 국가 차원을 넘어 지자체로까지 빠르게 확장되어 가는 추세이다. 특히 화재와 관련된 소방안전의 경우 출동거점의 입지에 대한 공간적 형평성과 효율성이 사고지점까지의 출동 소요시간에 상당한 영향을 미치고 이는 플래시 오버(flash over)로 인한 대형화재 발생을 억제하는 중요 요소이다. 그러나 기존의 소방서비스 인프라의 입지나 공간배분에 관한 의사결정은 상당부분 정치적인 이해관계를 기반으로 하는 등의 비과학적인 프로세스로 이루어져 왔다. 따라서 신속하고 적절한 소방서비스의 배분을 위한 데이터 기반 서비스 권역 및 접근성 관점에서의 연구는 매우 중요하다(구슬 등, 2012). Bash *et al.*, (1980)은 주요시설물의 입지 평가기준에 대해 접근성과 효율성, 형평성을 제시한 바 있는데 이는 서비스를 받을 수 있는 지역과 그렇지 않은 지역을 구분하는 과정에서부터 시작한다고 볼 수 있다. 소방서비스 인프라나 공공시설의 접근성을 기반으로 공간적 효율성과 형평성을 평가하고 조정하기 위해 수행된 다양한 선행 연구들 또한 이러한 과정을 대부분 채택하고 있는 것으로 검토되었다. 그러나 선행연구들은 이러한 공간적 효율성과 형평성을 평가함에 있어 네트워크 분석을 통한 물리적 접근성에 치우친 연구결과를 제시하고 있는 한계를 보인다. 소방 서비스는 인구, 건축물, 경험적인 사고다발지역 등 다양한 대상을 가지고 있고 이러한 대상물들에 적용되어야 할 접근성의 기준 또한 복잡적이다. 다시 말해 효율성 측면에서 서비스의 대상에 따라 대상물까지의 접근성이나 비용을 최소화하는 개념으로 접근해야 할 경우와 형평성 측면에서 최대한 많은 대상을 출동권역 내에 포함해야 하는 경우가 공존하므로 효율성과 형평성을 동시에 고려할 수 있는 접근성 분석프레임의 적용이 필요하다.

충남 소방본부의 경우 2017년 하반기부터 ‘제 10차 소방력 보장 5개년 계획’을 수립하여 2022년까지 소방인력 증원과 출동거점신설에 관한 정책과 근거를 마련하는 과정에 있다. 따라서 이에 대한 의사결정과정을 위해 과학적인 근거를 마련할 실질적인 수요가 있는 상황이다. 이러한 맥락에서 본 연구는 자체 구축한 정밀 도로네트워크(1:5,000) 기반의 공간 입지 배

분모형(spatial location-allocation)을 통해 충청남도 화재사고 출동거점 후보지를 두 가지 기준에 의거하여 다섯 가지 시나리오 적용결과를 통해 도출하였다. 또한 후보지의 신설을 통해 확보할 수 있는 효과를 정량적으로 제시하여 의사결정 과정에 직접적으로 활용할 수 있는 근거를 마련하고자 하였다. 특히 분석과정상에서 주거인구, 건축물, 실제사고 발생지점, 지정소방대상물, 실제사고 발생건수 등의 지역자료를 연계한 점과 통계적으로 가장 작은 공간단위인 집계구 기준으로 분석을 수행하되 실제 소방관할구역별로 소방취약지역을 도출한 부분은 기존연구와 다른 연구의 차별화된 부분이라 할 수 있다. 또한 자료수집→구축→분석→결과도출→해석의 과정을 충남소방본부와의 협조체제 하에서 진행함으로써 이론적 분석결과에 대한 현실적 정책 활용가능성을 제고하기 위한 노력 또한 본 연구의 강점으로 제시하고자 한다.

## 2. 선행연구 고찰

남광우 등(2007)은 부산시 소방서와 응급의료 시설에 관한 공간적 입지의 적절성과 함께 119응급의료 활동권역을 진단하였다. 김황배 외(2002)는 서울시 주거밀집지역을 대상으로 GIS공간분석기법을 이용하여 화재경계지구설정과 소방서의 적정위치를 평가하는 연구를 수행한 바 있다. 구슬 외(2012)는 진주시 지역의 5개 119안전센터와 1개 119지역대를 대상으로 GIS네트워크 분석기반의 서비스권역을 분석하여 도농통합 이후에도 개선되지 못하는 진주시의 소방서비스실태와 취약지역을 제시한 바 있다. 특히 유환희 외(2013)는 해당연구를 토대로 GIS기반의 OD cost matrix 분석을 통해 소방권역을 재조정함으로써 단축할 수 있는 출동 소요시간을 정량적으로 제시한 바 있다. 정용훈 외(2017)는 응급상황 발생 시 출동의 효율성을 높이기 위해 안전센터별 적정 119구급차 배치의 규모를 산정하고 구급차를 신규로 배치할 필요가 있는 안전센터를 탐욕 알고리즘(greedy algorithm)기반으로 탐색하는 연구를 진행 하였다. 김윤혜 외(2016)는 울산광역시를 대상으로 주거생활권 보장을 위한 소방서의 최적입지를 서비스권역 분석과 네트워크분석 기반으로 도출한 바 있다. 권필 등(2015)은 대전광역시를 대상으로 티셀폴리곤 분석을 통해 구급대의 권역 조정안을 제시한 바 있고, 오창석 등(2012), 이

승원(2011)은 경상북도 119구급대 신고자료를 바탕으로 구조·구급활동의 기초통계 및 발생분포를 살펴보고, GIS네트워크 분석을 활용하여 구조·구급서비스의 사각지역과 긴급차량의 현장지체지역을 도출하였다. 이 중 이승원(2011)의 연구는 GIS를 활용하여 감사원에서 감사의 가능성을 살펴보기 위한 연구로써 소방자료와 공공데이터를 결합하여 감사에 활용한 대표적인 사례이다. 해당연구는 119 구조·구급활동의 사각지대 및 효율성 등을 다양한 측면에서 분석한 후 위험요인을 파악하여 ‘비용을 최소화하고 보건혜택을 최대화할 수 있는 효율적인 서비스 공급이 이루어지고 있는가?’, ‘실제 제공되는 서비스가 효과가 있는지 그리고 성과가 없는 서비스에 자원이 낭비되고 있는 것은 아닌가?’, ‘보건 서비스가 수혜자들에게 균등하게 제공되고 있는가?’에 대한 감사시사점을 도출하였다.

이를 통해 GIS기반의 연구는 현재 문제를 보여주는 것에 그치지 않고 문제에 대한 대안을 제시할 때 대안으로 인한 개선효과도 함께 보여줄 수 있어 피감기관의 감사 수용성을 높이는 데 기여할 수 있다고 제안하였다. 이슬지 외(2011)는 서울특별시 소방서의 입지결정을 위한 연구로써 소방서비스의 취약지역을 도출하기 위하여 집계구와 도로망을 중심으로 접근성을 고려하였으며, 이때 취약지역을 도출하기 위하여 소방서비스의 공급지역과 수요지역 간의 중첩분석을 통하여 공간적 불일치를 도출하였다.

이러한 선행연구들을 검토해보면 우선 서비스 인프라의 공간적 형평성이나 입지의 효율성을 높이기 위한 접근으로 대부분의 연구가 공간정보 기반의 데이터 분석을 연구의 기본 프레임으로 채택하고 있음을 알 수 있다. 또한 공간적 형평성이나 입지의 효율성을 높이기 위한 중요 개념으로 접근성에 기반한 도시 네트워크 모델을 선호하고 있음을 알 수 있다. 특히 접근성 기반의 도시 네트워크 모델은 소방서비스 분야 이외에도 문화시설과 같은 농촌형 도시공공시설의 입지분석(윤정미 외, 2010)이나 도청과 같은 공공기관 입지의 비용최소화를 위한 분석(김범수 외, 2007) 등에서도 적용된 바 있다.

이러한 접근성, 효율성, 형평성에 대한 데이터 분석 시 적용하는 공간 스케일이나 구획특성은 데이터의 구획가능성에 의존적이기 때문에 다양하게 적용될 수 있다. 따라서 분석의 결과는 필연적으로 수정 가능한 공간단위 문제(MAUP; Modifiable Areal Unit

Problem)에서 자유로울 수 없는 불확실성을 내포하게 되고(최돈정 외, 2013), 결국 이러한 문제를 해결하기 위해서는 가능한 한 미시적인 수준에서의 분석이 필요하다(김현중 외, 2013).

이에 따라 본 연구에서는 네트워크 분석을 위한 1:5,000 정밀 도로네트워크 자료를 자체 구축하였으며, 집계구 기반의 주거인구, 위치기반의 건축물과 소방대상물 등의 자료들을 수집 및 구축하여 분석에 활용하였다. 또한 효율성과 형평성을 동시에 고려하고 각 출동지점의 보유인프라를 가중치로 활용할 수 있는 공간 입지배분모형을 통해 화재 출동거점 신설 후보지를 도출하였다.

### 3. 연구방법

#### 1) 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 충청남도 전 지역이며, 타 연구에서 일반적으로 적용하는 행정구역 대신 실질적인 소방권역을 고려한 결과해석이 가능하게 하기 위하여 2017년 기준 충청남도 78개(신설예정지 포함) 안전센터의 관할지역을 구축한 지도를 제작하였다. 또한 출동거점으로서의 기능이 존재하는 20개 지역대를 입지배분모델에 함께 적용하였다.

연구의 시간적 범위는 2017년 기준으로 2011년~2016년 동안 발생한 총 17,357건의 화재사고 자료를 취합하여 활용하였다. 내용적 범위(그림 1)는 첫째, 6년간 발생한 화재사고에 대한 충청남도 화재관련 정보이며, 이 과정에서 현 안전센터 간 출동거리, 화재사고별 현장까지 출동 소요시간 및 골든타임(5분) 확보율 등의 추가정보를 도출하여 화재발생정보 이외에 대응정보를 함께 구축하였다. 둘째, 자체적으로 구축한 1:5,000 기반의 정밀 도로망, 집계구 기반의 거주인구, 등록 소방대상물, 건축물 등의 자료를 연계 구축하여 네 가지 시나리오를 적용한 공간 입지 배분-모형 기반의 소방취약 집계구를 도출하였다. 셋째, 충남 소방본부와의 논의를 거쳐 네 가지 시나리오별 도출된 소방취약 집계구의 점수화 및 등급화를 통해 우선적으로 출동거점기관 신설이 필요한 21개 집계구를 선정하였다. 선정 시 우선 고려된 항목은 거주인구-건축물 수-소방대상물의 수-화재사고발생 건 수 순이다. 마지막으로 후보지 21개 지역이 신설되었을 때

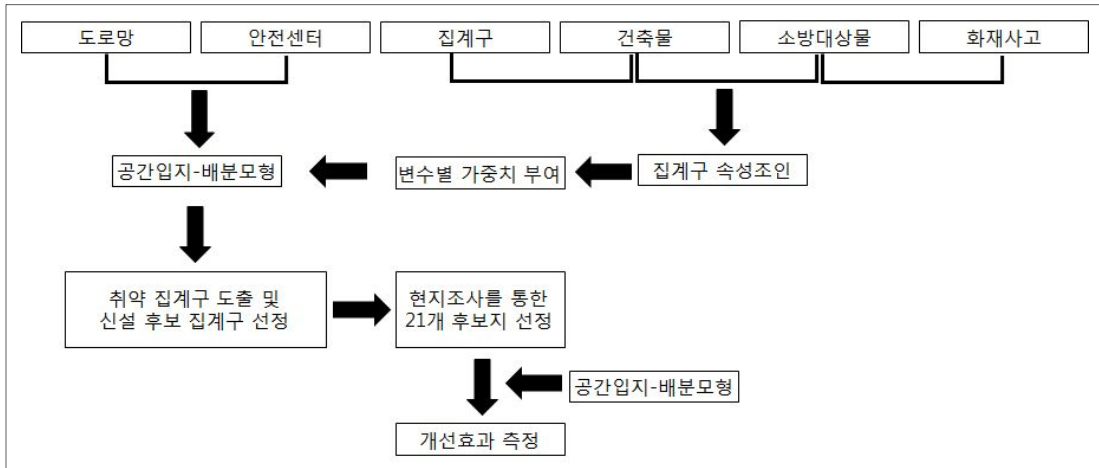


그림 1. 연구흐름도

골든타임 내에 얼마나 더 많은 서비스 가능 인구 수, 건축물 수, 소방 대상물 수를 확보할 수 있는지 비교 분석을 통해 개선 효과를 제시하였다.

## 2) 자료수집 및 구축

본 연구에서 분석에 활용된 자료 <표 1>와 자료구축과정은 다음과 같다.

첫째, 분석에 활용될 핵심 데이터인 네트워크 자료의 경우 일반적으로 사용되는 국가교통DB(KTDB)의 자료해상도가 본 연구의 공간스케일에 적합하지 않아 안전행정부(2016년 기준) 새주소 도로망 자료와 연계하여 자체 구축하였다. 충남지역을 1km×1km 격자 형태로 구획한 후 도로망을 스크린 벡터라이징(screen vectorizing)하여 실제도로 모양에 맞게 연

결 및 수정하였다. 이 과정에서 연결되는 노드부분의 회전정보는 다음(daum)로드맵을 참조하여 구축하였다.

둘째, 소방 관할구역은 분석결과 해석 시 일반적인 행정구역보다 현실적인 공간진단이 가능한 장점이 있다. 따라서 충남 소방본부의 행정동별 관할구역 일람을 참조하여 새롭게 구축하였다(그림 2).

셋째, 화재발생 원자료의 경우 오인, 취소 또는 지번주소가 누락된 정보를 제외한 정상출동사고만을 대상으로 구축하였으며, 원자료 상에 기재된 신고접수 시간과 현장도착시간을 연산하여 출동소요시간을 산출하였다.

넷째, 소방대상물과 안전센터, 지역대의 경우 충남 소방본부에서 제공한 자료를 기반으로 지오코딩하여 공간데이터로 변환하였다.

다섯째, 건축물 자료는 안전행정부(2016년 기준)

표 1. 자료구축 현황

구 분	출 처	기준년도	구축 스케일
소방 관할구역	충남소방본부	2017	78개
화재발생 원자료	충남소방본부	2011~2016	위치기반→집계구
안전센터 위치	충남소방본부	2017	위치기반
지역대 위치	충남소방본부	2017	위치기반
등록 소방대상물	충남소방본부	2017	위치기반→집계구
건축물 위치	안전행정부	2017	위치기반→집계구
집계구 주거인구	통계청	2016	집계구(4,321개)
도로 네트워크	안전행정부(자체 구축)	2016	1:5,000



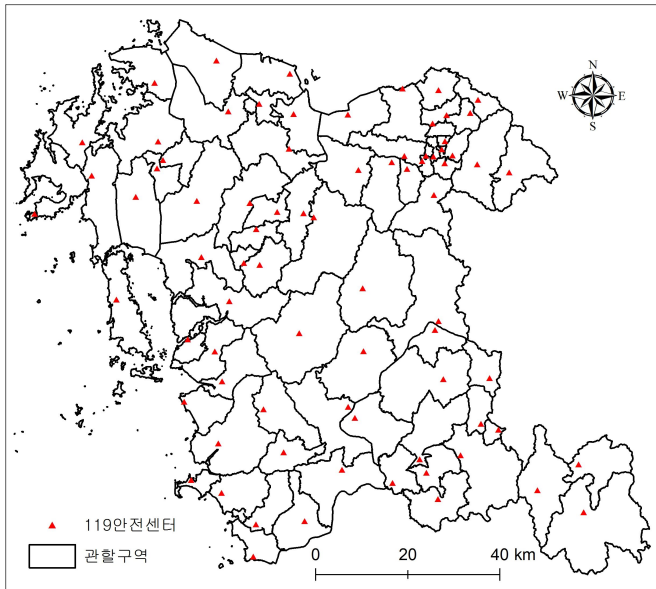


그림 2. 충청남도 78개 안전센터별 관할구역

새주소 건축물 자료 중 충청남도 건축물 844,000개 정보를 구축하였다.

마지막으로 화재발생, 주거인구, 등록 소방 대상물, 건축물<sup>1)</sup> 등의 자료를 집계구와 공간조인하여 분석에 활용하였다.

### 3) 공간 입지-배분모형의 적용<sup>2)</sup>

입지-배분은 지리학에서 시설입지와 자원배분에 대해 가장 널리 알려져 있는 개념이다. 지금까지 수많은 공간분석 기법과 공간모형들이 개발되어 왔는데 가장 대표적인 모형은 공간 상호작용 모형과 입지-배분 모형이다. 이 중 입지-배분 모형은 입지와 그 입지상의 각종 자원의 배분을 다루는 내용으로서 최소의 비용과 함께 최대의 접근성을 동시에 확보하도록 고안된 모형이다. 입지-배분 모형에서 입지는 최적 입지를 의미하고, 배분은 최적 입지의 시설에 배분된 수요를 의미한다. 즉 입지-배분 모형은 최적의 위치에 입지한 시설물과 그 시설물에서 가장 가까운 거리의 수요를 어떻게 배분하는가를 공간 알고리즘으로 해결하는 일종의 공간 최적화 문제이다. 이러한 공간 최적 문제를 해결하기 위해서 입지-배분 모형은 다음의 전제 조건을 가진다.

- 분석 시작 전에 입지할 시설물 수를 미리 정한다. 예를 들면 얼마나 많은 소방 센터를 입지할 것인가? 미리  $n$ 개의 최적 입지를 탐색할 시설물 수를 지정해야 한다. 다만 최소의 시설 수로 최대 수요를 확보해야 하는 조건(Minimize Facilities)과 주변의 경쟁 시설을 감안하면서 최소의 시설 수로 일정한 수요 규모를 최대로 확보해야 하는 조건(Target Market Share)은 입지-배분 알고리즘에 의해서 자동적으로 최소 시설물 수가 계산된다.
- 모든 시설은 최소한 하나 이상의 수요와 연결되어 있다. 즉 수요가 배분되어 있지 않은 시설물은 존재하지 않는다.
- 모든 수요는 반드시 하나의 시설물에만 배분된다. 개별 수요는 두 개 이상의 시설물에 동시에 배분될 수 없다. 반드시 하나의 시설에 배분되고 이동 비용(거리, 시간)이 가장 적게 소요되는 시설에 배분된다.
- 수요 지점에서의 수요자는 원칙적으로 가장 가까운 거리에 있는 시설을 이용한다.
- 배분되는 수요의 조건에 따라 최적 입지가 달라진다. 최소이동거리를 만족할 경우와 최대수요를 만족할 경우의 시설물의 최적 입지는 위치가 달라진다. 즉 최소 이동 거리 조건에서의 수요의 배분 결과와 최대 수요 조건에서의 수요배분 결과도 달라진다.

〈표 2〉는 입지-배분 모형에서 최적 입지를 찾기 위해 고려되어야 하는 일종의 기준에 해당한다. 어떤 기준을 선택하느냐는 어떤 시설을 입지시키는가에 따라 달라진다. 상업시설과 학교와 병원 같은 공공시설, 소방과 응급서비스를 제공하는 시설 등의 최적 입지는 서비스 목적과 시설에 따라 다른 입지문제유형이 적용된다.

입지-배분 모형은 특정 조건을 만족하는 상황에서 가장 최적의 해를 찾는 일종의 최적화 조합 문제이다. Schietzelt *et al.*, (2003)은 입지-배분모형의 입지문제에 대해 안전센터 입지의 경우 〈표 2〉에 제시한 7가지 입지문제 유형 중 2번과 4번에 밀접한 관련이 있다고 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 충남소방본부와의 협의 하에 출동거점 후보지 선정에 있어 최소의 시설물 수를 제한해야 할 필요가 없는 점을 고려하

표 2. 입지-배분 모형에서의 입지 문제 유형(location problem type)

번호	함 수	개 념	비 고
1	Minimum Impedance (p-median)	시설과 수요간 최소비용(거리)확보	
2	Maximum Coverage	각 시설에서 최대수요 확보	
3	Maximize Capacitated Coverage	각 시설의 제약조건을 감안하여 최대 수요 확보	
4	Minimize Facilities	최소의 시설 수로 최대수요 확보	
5	Maximize Attendance	시설과 수요간 거리조락을 반영하여 최대수요 확보	
6	Maximize Market Size	주변 경쟁시설 감안하여 최대수요 확보	
7	Target Market Share	주변의 경쟁시설을 감안하여 최소의 시설 수로 일정 수요 규모를 최대 확보	

출처: ArcGIS Desktop Help, ESRI.

표 3. 화재 취약 집계구 선정 시 적용된 입지문제

입 지 조 건	해 당 함 수
소방 기관에서 화재사고 발생 지점까지 출동 거리의 합을 최소화	시설과 수요간 최소비용(거리)확보
골든타임 5분 내 소방 대상물이 많은 지역을 최대한 확보	각 시설에서 최대수요 확보
골든타임 5분 내 건축물이 많은 지역을 최대한 확보	각 시설에서 최대수요 확보
골든타임 5분 내 화재사건이 많이 발생했던 지역을 최대한 확보	각 시설에서 최대수요 확보
골든타임 5분 내 인구가 많이 사는 지역을 최대한 많이 확보	각 시설에서 최대수요 확보

$$\text{Minimize } \left\{ Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} d_{ij} x_{ij} \right\} \quad (1)$$

$$\text{전제조건 : } \sum_{i=1}^m \lambda_{ij} = 1 (j = 1, \dots, n)$$

$$\lambda_{ij} \leq 1, \lambda_{ij} \geq 0$$

$$\lambda_{ij} = \text{정수}$$

$$\lambda_{ij} = \begin{cases} 1: \text{만약 최소조건을 충족하는 곳의 집계구일 때} \\ 0: \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$$

$$d_{ij} = \text{네트워크 상의 거리}$$

여 7가지 입지문제 유형 중 1번과 2번의 유형을 기준으로 현장 소방공무원들과의 인터뷰를 통한 다섯 가지 입지조건을 선정하여 분석을 수행하였다(표 3).

본 연구에 활용된 ‘시설과 수요간 최소비용(거리) 확보’와 ‘각 시설에서 최대수요 확보’는 Marianov et al.,(2009)에 의해 제시된 바 있다. 이에 ‘10차 소방력 보장 5개년 계획 수립’ 전 충청남도 78개 안전센터와 지역대로부터 4,321개의 집계구 중심점까지 총 통행 거리 합을 최소화시키는 모형을 활용하였다. 이는 ‘시설과 수요간 최소비용(거리)확보’의 입지문제를 다룬 것으로써 (1)과 같이 네트워크 상에서 결절점 사이의 최단 경로인 실제 통행거리를 최소화하는 것을 의미한다. 기본적인 모형은 ‘0-1’과 같은 형태를 가지고 있으며 비용을 최소화하는 조건에 만족하면 1, 그렇지 않은 경우 0을 부여받는 조건이다(김범수 외, 2007).

‘각 시설에서 최대수요 확보’ 입지문제는 화재사고 발생 시 현장도착 시까지의 골든타임 5분 내에 최대한 많은 소방서비스 수요를 확보하는 집계구 권역을 의

미한다. 분석 시 채택한 소방서비스 수요는 집계구 내 거주인구, 건물 수, 소방대상물 수, 과거 화재발생 사고건 수이다.

#### 4) 화재 출동 취약지역 및 후보지 선정 방법

Cutter(1996)는 GIS레이어를 활용하여 소방서비스에 대한 취약성 색인지도를 생성하였으며, 이슬지 외(2011)는 취약성을 나타내는 위험요소를 정의하여 n개의 위험요소들에 대한 값을 할당하여 면적밀도 값을 부여하고 인덱스 오버레이(Malczewski, 2000)기법을 활용하여 소방취약성 색인지도를 제작한 바 있다(3).

본 연구에서는 위의 모형을 기반으로 하여 분석에 적용된 다섯가지 입지문제의 결과가 도출된 서비스 미수혜 집계구에 대해 5분위수(quantile)방식을 적용하여 1분위(상위 20%)에 해당하는 집계구를 취약지역으로 정의하였다. 즉, 입지배분 모델 분석결과 도출

$$\text{Maximize } \left\{ Z = \sum_{i \in I} a_i y_i \right\} \quad (2)$$

$$\text{전제조건 : } Y \leq \sum_{j \in N_j} x_i \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{j \in J} x_i = P$$

$$x_i, y_i \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, i \in I$$

$I$  = 서비스수요 집계구

$J$  = 출동거점

$P$  = 총 출동거점수

$x_i = \begin{cases} 1: \text{골든타임내 도달 가능한 출동거점 입지할 때} \\ 0: \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$

$y_i = \begin{cases} 1: \text{서비스수혜 필요할 때} \\ 0: \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$

$S$  = 기준 시간 커버리지(골든타임 5분)

$N_i$  = 골든타임 수혜가 가능한 모든 집계구

$a_i$  = 집계구가중치(인구수, 건축물수, 소방대상물수, 화재사고 발생건수)

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij} X_{ij}}{\sum_{i=1}^n W_{ij}} \quad (3)$$

$V_j$  = j지역의 취약성 인덱스

$X_{ij}$  = j지역의 위험요소갯수( $i=1, 2, \dots, n$ )

$W_{ij}$  = j지역의 위험요소가중치

된 출동거리, 소방대상물, 건축물, 화재사고, 거주인구에 대한 5가지 위험요소가 적용된 화재취약 집계구를 도출하고 각 요소별로 1점씩 부과하여 최종적으로 5가지 요소가 종합적으로 취약한 출동거점 후보지를 선정하였다. 단, 인구의 경우 집계구 구획 시 활용되는 요인(최적 500명, 최소 300명)으로 적용하여 서비스 미수혜지역이면서 인구가 500명 이상 거주하는 취약지역을 도출하였다.

#### 4. 분석결과

다섯가지 시나리오 분석결과를 통해 도출된 인자별 화재 취약 집계구와 화재 출동거점 입지 후보지는 〈그림 3〉과 같다.

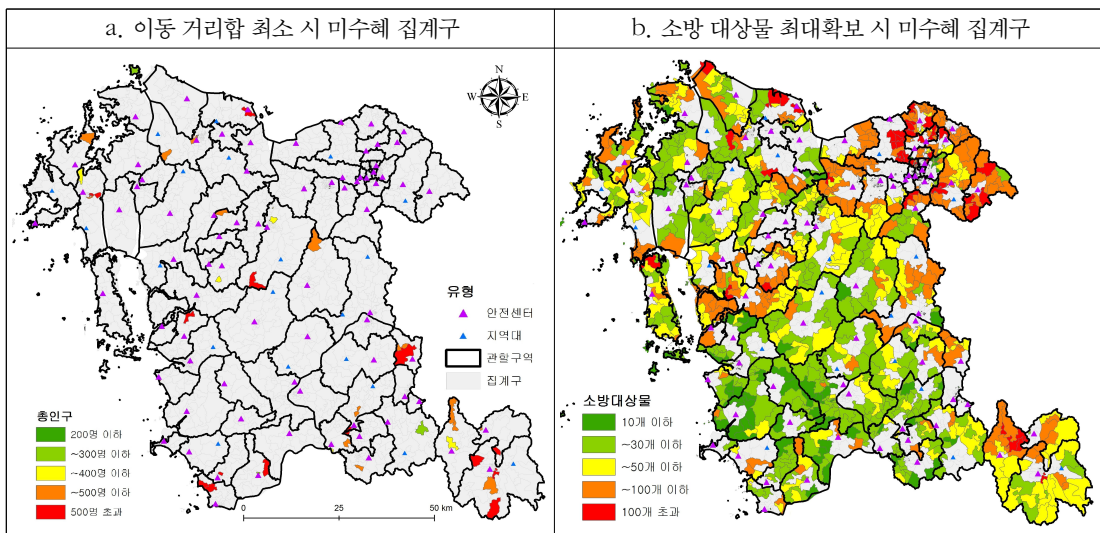
첫째, ‘시설과 수요간 최소비용(거리)확보’의 기준에 의거한 이동거리 합 최소화 시나리오 분석 결과(a) 서비스 미수혜 집계구는 총 4,231개 집계구 중 83개 집계구(2.0%)가 해당되었으며, 1점씩 부여하였다. 보령소방서 내 오천 안전센터는 다수의 도서지역을 포함하고 있어 미수혜 집계구의 비중이 50.0%를 차지하고 있다.

둘째, ‘각 시설에서 최대수요 확보’ 기준에 의거한 골든타임 5분 내에 소방 대상물을 최대한 많이 확보하기 위한 시나리오 분석결과(b) 서비스 미수혜 집계구는 총 4,231개 집계구 중 2,136개 집계구(50.5%)가 해당되었으며, 1점을 부여하였다. 금산소방서 내 북

진 안전센터의 경우 13개 집계구 중 12개(92.3%)가 서비스 미수혜 집계구로 도출되었다. 또한 공주소방서 내 동학사 안전센터의 경우 안전센터 인근지역에서 서비스 미수혜 집계구가 나타났는데, 이는 계룡산이라는 지형적 요소에 따른 도로망의 미비로 인한 이동거리의 제약 때문으로 판단된다.

셋째, ‘각 시설에서 최대수요 확보’ 기준에 의거한 골든타임 5분 내에 건물을 최대한 많이 확보하기 위한 시나리오 분석결과(c) 서비스 미수혜 집계구는 총 4,231개 집계구 중 1,121개 집계구(26.5%)이며, 해당 집계구에는 1점씩 부여하였다. 금산 소방서 관할 복진 안전센터(92.3%)는 서비스 미수혜 집계구 비중이 상당히 높으며, 천안시 동부지역에 해당하는 동면, 병천면, 목천읍, 수신면, 성남면과 금산군 군북면 지역도 건축물이 많음에도 불구하고 서비스 미수혜 집계구가 다수 나타나고 있다. 반면 계룡 소방서 내 계룡, 엄사 안전센터, 천안 서북 소방서 내 서부 안전센터, 아산 소방서 내 장재 안전센터는 서비스 미수혜 집계구가 없는 것으로 나타났다.

넷째, ‘각 시설에서 최대수요 확보’ 기준에 의거한 골든타임 5분 내에 과거 발생한 화재사고를 최대한 많이 확보하기 위한 시나리오 분석결과(d) 서비스 미수혜 집계구는 총 4,231개 집계구 중 2,495개 집계구(59.0%)이며, 해당 집계구에는 1점씩 부여하였다. 금산 소방서 관할 복진 안전센터(92.3%)는 서비스 미수혜 집계구 비중이 상당히 높으며, 천안시 수신면, 금





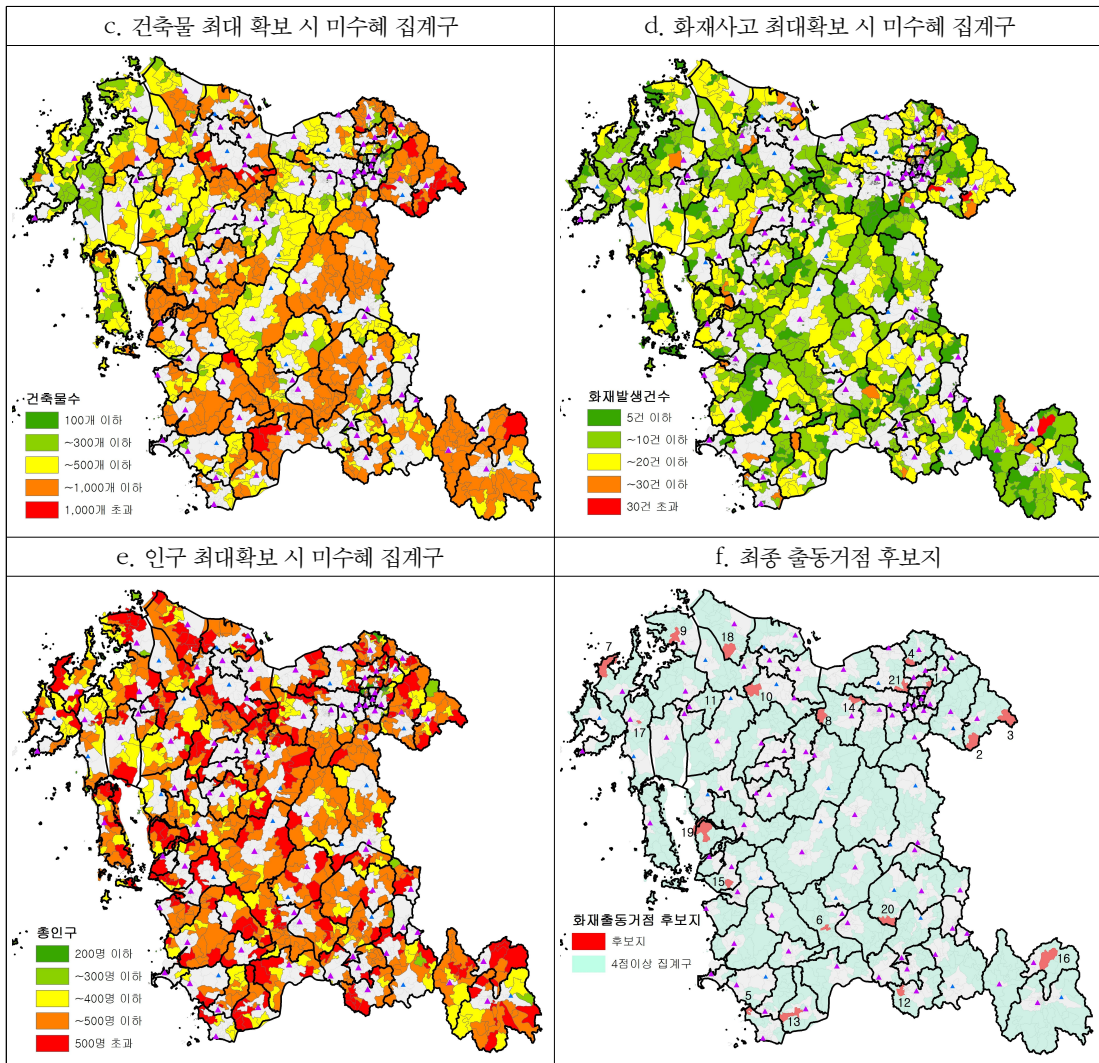


그림 3. 입지 배분모형 분석결과

산군 추부면, 군북면 지역에서 화재사고 발생이 많음에도 불구하고 서비스 미수혜 집계구들이 다수 나타나고 있다.

다섯째, ‘각 시설에서 최대수요 확보’ 기준에 의거한 골든타임 5분 내에 최대한의 인구를 많이 확보하기 위한 시나리오 분석결과(e) 서비스 미수혜 집계구는 총 4,231개 집계구 중 1,110개 집계구(26.2%)이며, 해당 집계구에는 1점씩 부여하였다. 금산 소방서 관할 복진 안전센터(92.3%)는 서비스 미수혜 집계구 비중이 상당히 높으며, 반면 계룡 소방서 내 계룡 안전센터, 천안 서북 소방서 내 서부 안전센터, 아산 소방

서 내 장재 안전센터는 서비스 미수혜 집계구가 없는 것으로 나타났다.

최종적으로 다섯가지 시나리오를 종합하여 취약성 인덱스가 4점 이상 부여된 집계구 1,121곳을 도출하였다. 이 결과를 토대로 현지조사와 신규 출동거점 입지를 충남소방본부에 신청한 충남 도내 소방서별 관할지역의 현황조사를 통해 <표 4>와 같이 최종적으로 입지후보지 21곳을 선정하였다.

거점후보지의 입지지점 선정은 환경부의 세분류 토지피복도, 각 후보지별 토지이용계획, 인터넷포털 네이버(naver)지도를 활용한 중첩분석을 통해 시가

표 4. 화재 출동거점 후보지

우선 순위	후보지역	소방서	안전센터	총인구	건축물수	소방 대상물	화재발생 건수
1	천안시 부대동	천안서북	차암	619	1,190	150	28
2	천안시 수신면 발산리	천안동남	병천	577	1,583	129	24
3	천안시 동면 화덕리	천안동남	병천	555	1,571	63	16
4	천안시 성환읍 울금리	천안서북	성환	531	1,134	184	20
5	서천군 마서면 송석리	서천	장항	744	697	35	23
6	부여군 규암면 반산리	부여	백제	592	481	29	8
7	태안군 원북면 방갈리	태안	원북	668	426	75	15
8	아산시 선장면 대정리	아산	신창	665	531	57	5
9	서산시 대산읍 대로리	서산	대산	660	356	43	12
10	당진시 면천면 송학리	당진	합덕	614	1,066	49	9
11	서산시 음암면 부장리	서산	동부	602	9	1	1
12	논산시 연무읍 금곡리	논산	연무	600	756	28	19
13	서천군 기산면 두남리	서천	한산	601	488	31	12
14	아산시 신창면 신달리	아산	신창	597	517	81	13
15	보령시 주교면 관창리	보령	주포	642	364	19	9
16	금산군 추부면 서대리	금산	추부	582	917	100	31
17	태안군 태안읍 평천리	태안	태안	592	90	30	6
18	당진시 고대면 대촌리	당진	석문	600	548	30	19
19	보령시 천북면 장은리	보령	오천	535	924	70	15
20	공주시 탄천면 남산리	공주	공주_계룡	549	760	26	12
21	아산시 음봉면 산동리	아산	둔포	640	652	236	18

표 5. 거점후보지 추가 후 개선효과

	합계	기존 98개		추가 119개		증감	
총인구	1,900,620	1,442,194	75.9%	1,488,893	78.3%	+46,699	+2.46%
건물수	844,471	414,780	49.1%	442,178	52.4%	+27,398	+3.24%
소방물	95,375	60,503	63.4%	63,169	66.2%	+2,666	+2.80%
화재수	17,495	9,519	54.4%	10,130	57.9%	+611	+3.49%
최소거리 (이론상 5분 도달거리)	17,495	9,247	52.9%	10,750	61.4%	+1,503	+8.59%

지 지역 중 나지 또는 대지인 지역을 최종 입지지점으로 선정하였다. 최종 선정된 입지지점을 반영한 개선효과 분석을 위해 입지배분 모형을 재수행하였으며, 분석결과 <표 5>와 같은 개선효과를 나타내었다.

## 5. 결 론

화재와 관련된 소방안전의 경우 출동거점의 입지에 대한 공간적 형평성과 효율성이 사고지점까지의 출동 소요시간에 상당한 영향을 미치고 이는 플래시 오버(flash over)로 인한 대형화재 발생을 억제하는 중요

요소이다. 따라서 신속하고 적절한 소방서비스의 배분을 위한 데이터 기반 서비스 권역 및 접근성 관점에서 연구는 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 공간 입지 배분모형(spatial location-allocation)을 통해 충청남도 화재사고 출동 거점 후보지를 두 가지 기준에 의거하여 다섯 가지 시나리오 적용결과를 통해 도출하였다. 또한 후보지의 신설을 통해 확보할 수 있는 효과를 정량적으로 제시하여 의사결정 과정에 직접적으로 활용할 수 있는 근거를 마련하고자 하였다.

다섯 가지 시나리오는 ‘이동거리 합 최소화’, ‘골든타임 5분 내에 소방 대상을 최대한 많이 확보’, ‘골든타임 5분 내에 건물을 최대한 많이 확보’, ‘골든타임 5분 내에 과거 발생한 화재사고를 최대한 많이 확보’, ‘골든타임 5분 내에 최대한의 인구를 많이 확보’이다. 시나리오별 분석결과에 따라 도출된 인자별 화재 취약 집계구를 충남소방본부와 종합적으로 검토하여 21개 화재 출동거점 입지 후보지를 선정하였고, 선정된 후보지를 포함한 입지-배분모형의 재분석을 통해 개선효과를 제시하였다.

이러한 분석결과를 바탕으로 후보지 신설에 따른 개선효과를 정량적으로 제시함으로써 의사결정 과정에 직접적으로 활용할 수 있는 근거를 마련할 수 있었다. 또한 분석 과정상에서 주거인구, 건축물, 실제 사고발생지점, 지정 소방대상물, 실제 사고발생건수 등의 지역자료를 연계한 점과 집계구 기준으로 분석을 수행하되 실제 소방관할구역별로 결과를 도출한 부분은 본 연구의 차별화된 부분이라 할 수 있다.

아울러 자료수집→구축→분석→결과도출→해석의 과정을 충남 소방본부와의 협조체제 하에서 진행함으로써 이론적 분석결과에 대한 현실적 정책활용 가능성을 제고하기 위한 노력 또한 차별화된 부분이다.

하지만 본 연구는 화재의 출동거점지만을 선정한 것으로서 안전센터의 특성상 구급, 구조 등의 다른 요인들도 종합적으로 검토해야함이 필요하다. 따라서 이에 대한 거점후보지를 각각 도출하여 소방기관의 신설에 있어 종합적인 판단이 필요하다.

또한 본 연구에 적용된 인자는 이론적 근거와 현실적인 지역특색이 반영된 결과물로서 그 가치가 있지만 인자간의 관계나 인자별 가중치를 정량적으로 적용한 후속연구가 필요하다고 판단된다. 또한 이러한 분석 프레임을 통하여 자료의 활용이나 정책의

수립영역에서 보다 고도화돼야 함이 필요하다고 판단된다.

## 주

- 1) 2016년 기준 안전행정부의 새주소 공간정보 중 충청남도 건축물 844,000개 정보를 활용하였다.
- 2) GIS에서 입지-배분 모형을 쉽게 분석할 수 있는 소프트웨어는 ArcGIS 이다. 지난 수십년 동안 ArcGIS에서는 입지-배분과 관련하여 다양한 기법들이 개발되어 왔다. 본 내용은 ArcGIS 최신 버전인 10.5에서 제공하는 입지-배분 모형에 적용된 개념을 중심으로 주요 유형을 소개하고자 한다. 이론적으로 거의 대부분의 개념과 내용이 ArcGIS 10.5의 Spatial Analyst extension에 적용되어 있다.

## 문헌

- 구슬, 유환희, 2012, 화재 출동시간에 근거한 진주시 소방권역 분석, 한국지형공간정보학회지, 20(4), 127-134.
- 권필, 이영민, 허용, 유기윤, 2015, GIS 네트워크 분석을 활용한 응급의료서비스 권역 재조정 방안, 한국지형공간정보학회지, 23(3), 11-21.
- 김범수, 김갑성, 2007, 비용최소화를 고려한 공공기관의 입지모형-충남도청의 이전사례를 중심으로, 국토계획, 42(4), 115-133.
- 김수현, 권기욱, 금상수, 2017, 중소도시 방재시설 입지에 관한 연구-제천시·단양군 지역을 중심으로, 한국지적정보학회지, 19(2), 103-111.
- 김윤희, 한민지, 김은정, 2016, 시민의 안전한 주거생활권 보장을 위한 소방서의 최적입지 선정에 관한 연구-울산광역시를 중심으로, 한국주거학회 학술대회논문집, 221-224.
- 김황배, 김동문, 오승훈, 2002, GIS공간분석기법을 적용한 화재경계지구 설정과 소방서의 적정위치 평가에 관한 연구-서울시 주거밀집지역을 중심으로-, 대한토목학회지, 22(4), 607-616.
- 김현중, 정진우, 도보권, 2016, 근린공원의 최적입지에 관한 연구-수도권을 중심으로, 2016, 주거환경, 14(1), 41-57.
- 박재국, 김동문, 2012, 네트워크 분석을 이용한 보행 속도에 따른 대피소 서비스 영역 분석, 한국지형공간정보학회지, 20(4), 37-44.

- 박환용, 정일훈, 김철중, 2010, 도시공공시설의 적정 입지 선정에 관한 연구-과주시를 중심으로, 국토연구, 66, 149-168.
- 이슬지, 이지영, 2011, GIS기반 중첩기법을 이용한 소방 서비스 취약지역 분석, 한국측량학회지, 29(1), 91-100.
- 남광우, 김정진, 2007, 부산시 응급의료서비스의 시공간적 분포특성, 한국지리정보학회지, 10(1), 113-123.
- 오창석, 이승원, 이인묵, 고승영, 2012, GIS를 활용한 119 구조구급서비스의 도착지체 및 출동배치에 대한 공간분석-경상북도 사례 연구, 대한토목학회지, 32(1), 13-22.
- 윤정미, 이신흔, 2010, 효율성과 형평성을 고려한 공공시설 입지분석에 관한 연구-금산군 문화시설을 대상으로, 한국지리정보학회지, 13(2), 1-10.
- 유환희, 구슬, 2013, 진주시 소방서비스 취약지역 개선을 위한 소방권역 조정, 한국지형공간정보학회지, 21(1), 19-26.
- 이승원, 2011, 119구조·구급활동 감사에서의 GIS 활용연구, 감사논집, 16, 101-130.
- 정용훈, 정희나, 고정환, 2017, 출동 응답 향상을 위한 적정 구급차 수량 및 배치 위치 결정 연구, 한국 화재소방학회지, 31(3), 137-143.
- 최돈정, 서용철, 2013, 장수 인구의 분포 패턴에 관한 탐색적 공간 데이터 분석과 수정 가능한 공간단위 문제(MAUP)의 Scale Effect에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 16(3), 40-53.
- Cutter, S. L. 1996, Vulnerability to Environmental Hazards, *Progress in Human Geography*, SAGE, 20(4), 529-539.
- Malczewski, J. (2000), On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches, *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22.
- Matisziw, T. C., and A. T. Murray. 2009, Area Coverage Maximization in Service Facility Siting, *Journal of Geographical Systems* 11, 175-89.
- Schietzelt, T. H. and Densham, P.J. 2003, Location-allocation in GIS, *Advanced Spatial Analysis: The CASA Book of GIS*, ESRI Press, Redlands, CA.
- 교신 : 최돈정, 32589, 충남 공주시 연수원길 73-26, 충남연구원 미래전략연구단(이메일: jjolddagoo@cni.re.kr, 전화: 041-840-1241)
- Correspondence : Don-Jeong Choi, Dept. of Future Strategy Research, ChungNam-Institute, 73-26, Yeonsuwon-gil, Gongju-si, Chungcheongnam-do, 32589, Korea(E-mail: jjolddagoo@cni.re.kr, Tel: +82-41-840-1241)
- (접수: 2018.04.10, 수정: 2018.05.28, 채택: 2018.05.29)