

GIS 네트워크 분석을 활용한 응급의료서비스 권역 재조정 방안 - 대전광역시 사례 연구

Rearranging Emergency Medical Service Region Using GIS Network Analysis - Daejeon Metropolitan City Case Study

권 필* · 이영민** · 허 옹*** · 유기윤****

Kwon, Pil · Lee, Young Min · Huh, Yong · Yu, Ki Yun

요 旨

최근 각종 재난재해로 인해 인명피해가 증가함에 따라 응급의료서비스의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이러한 응급의료서비스의 기본이 되는 119구급대의 이동 시간은 인명 구출의 핵심 요소라고 할 수 있으며, 이로 인해 119구급대의 효율적인 출동 방안에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 GIS 네트워크 분석을 활용하여 119구급대의 출동 권역을 효율적으로 재조정하고자 하였다. 새로운 권역을 형성하기 위해 대전지역 경계 내에서 무작위로 생성한 약 80만 개의 가상 신고 위치와 26135개의 소방관서 위치를 기점으로 기종점 OD 행렬 분석을 실시하였으며, 이를 바탕으로 Thiessen Polygon을 생성함으로써 새로운 권역을 도출하였다. 그 결과, 각 소방관서로부터 신고 위치까지의 평균 이동 시간이 9.93분에서 5.53분으로, 4.4분이 단축되었으며, 면적의 경우 평균 32.07 km²에서 20.72km²로, 11.35km²가 감소된 것을 확인할 수 있었다. 따라서 유관 기관에서 소방관서의 관할권역을 재조정하고자 하는 경우 본 연구가 유용하게 사용될 수 있을 것으로 보인다.

핵심어 : GIS, 네트워크 분석, 소방권역, 응급의료서비스 권역, 기종점 OD 행렬

Abstract

Emergency Medical Service(EMS) has become focused due to all kinds of disaster and a great number of casualties. The 119 emergency vehicles' dispatching methods are now being focused, for travel time of ambulances are the critical components in terms of saving human lives. Therefore, this study tried to rearrange 119 EMS regions more efficiently. For this study, Daejeon Metropolitan City's real call cases were analyzed. In order to rearrange the regions, OD Cost Matrix analysis was performed between 800 thousands random points and 26 departments in the Daejeon Metropolitan City. By creating Thiessen Polygon from the random points, a new region was created. As a results, average areas of the regions were reduces from 32 square kilometers to 20 square kilometers, and average time of arrivals are were also improved. Hence, if related organizations plan to rearrange EMS regions, they may utilize this study.

Keywords : GIS, Network Analysis, Fire Department Region, Emergency Medical Service Region, OD Cost Matrix

1. 서 론

최근 우리 사회의 급속한 인구 고령화와 생활습관 변

화에 따라 급·만성질환 환자가 증가하고 있으며(Ahn, 2015), 이와 함께 뇌·심혈관계 질환을 비롯한 다양한 형태의 응급환자가 늘고 있다. 또한 화재, 자연재해, 산

Received: 2015.05.26, revised: 2015.07.31, accepted: 2015.08.06

* 정회원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정(Member, Doctoral Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, pil0706@snu.ac.kr)

** 정회원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정(Member, Doctoral Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, daldanka@snu.ac.kr)

*** 교신저자 · 대한지적공사 공간정보연구원 선임연구원(Corresponding Author, Senior Researcher, LX Spatial Information Research Institute, huhyong78@lx.or.kr)

**** 정회원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수(Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, kiyun@snu.ac.kr)

업재해, 교통사고 등 각종 재난재해로 인한 응급 상황이 날이 갈수록 증가함에 따라 응급의료서비스(Emergency Medical Service, EMS)의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이러한 응급 상황에서는 피해자의 생명과 직결되는 구급 차량의 신속한 현장 도착이 필수적이므로 신고 시점부터 현장 도착까지 소요되는 시간을 최소화하는 것이 매우 중요하다.

응급 환자의 생존과 직결되는 측면에서 필수적으로 등장하는 시간 개념이 ‘골든타임(golden time)’이다. 이는 사고 발생 시점으로부터 인명을 안전하게 구조하기 위해 필요한 시각적 단위로 정의되며, 응급 상황 발생 시 5분 동안의 응급처치가 환자의 생사를 가를 수 있다는 사실이 강조되면서 구급대의 출동 시점부터 이송까지의 시간적 낭비를 최소화한다는 측면까지도 포함한다(Shin et al., 2015). 일반적으로 골든타임의 안전 범위는 4-6분으로 알려져 있으나, 소방방재청에 따르면 지난 2011년부터 2013년까지 3년 간 전국에서 이루어진 119구급대(이하 구급대)의 출동 사례 중 5분 이내에 현장에 도착한 비율은 54% 수준이며, 이러한 도착률은 매년 감소하고 있는 것으로 나타났다(Cho, 2014).

본 연구에서는 대전광역시를 대상으로 2014년 한 해 동안(2014.01.01.~12.31.) 발생한 실제 응급 상황 신고 이력과 해당 신고에 대해 출동한 구급대 데이터를 이용하여 통계 분석 및 네트워크 분석을 실시하였으며, 최종적으로 응급의료서비스 권역을 재조정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 구급대와 관련된 법규를 검토하고 관련 선행 연구를 고찰하였으며, 3장에서는 GIS 네트워크 분석을 활용하여 대전광역시의 2014년 구급대 출동 현황을 분석하고 이를 바탕으로 효율적인 구급대 배치 방안을 제시하였으며, 최종적으로 구급대의 권역 조정을 제시하였다. 4장에서는 본 연구에 대한 결론과 향후 연구 과제를 도출하였다.

2. 관련 법규 검토 및 선행 연구 고찰

2.1 관련 법규 검토

119구조·구급에 관한 법률 제2조에서는 구조와 구급 활동을 서로 구분하여 정의하고 있다. 먼저, 구조란 화재, 재난·재해 및 테러, 그 밖의 위급한 상황에서 외부의 도움을 필요로 하는 사람의 생명, 신체 및 재산을 보호하기 위하여 수행하는 모든 활동을 의미하며, 따라서 119구조대란 탐색 및 구조 활동에 필요한 장비를 갖추고 소방공무원으로 편성된 단위조직을 말한다. 반면에 구급은 응급환자에 대하여 행하는 상담, 응급처치 및 이송 등의 활동을 말하며, 따라서 119구급대란 구급활동에 필요한 장비를 갖추고 소방공무원으로 편성된 단위조직을 말한다.

본 논문에서 다루고자 하는 범위는 구조 활동을 제외한 구급 활동 및 119구급대에 해당하는 내용이며, 119구급대의 운영 및 출동 구역과 관련된 법규로는 119구조·구급에 관한 법률 시행령 제10조(119구급대의 편성과 운영)와 119구조·구급에 관한 법률 시행규칙 제8조(구급대의 출동구역)가 있다.

먼저, 119구조·구급에 관한 법률 시행령 제10조(119구급대의 편성과 운영)에 따르면 일반구급대는 시·도의 규칙으로 정하는 바에 따라 소방서마다 1개 대 이상 설치하되, 소방서가 설치되지 않은 시·군·구의 경우에는 해당 시·군·구 지역의 중심지에 소재한 119안전센터에 설치할 수 있도록 되어 있다. 또한 고속국도구급대는 교통사고 발생 빈도 등을 고려하여 국민안전처, 소방본부 또는 고속국도를 관할하는 소방서에 설치하되 소방본부 또는 소방서에 설치하는 경우에는 시·도의 규칙으로 정하는 바에 따라야 한다.

이러한 구급대의 출동구역은 119구조·구급에 관한 법률 시행규칙 제8조(구급대의 출동구역)를 따르는데 그 내용을 보면, 일반구급대 및 소방서에 설치하는 고속국도구급대는 구급대가 설치되어 있는 지역 관할 시·도, 고속국도구급대는 교통사고 발생 빈도 등을 고려하여 국민안전처, 소방본부 또는 고속국도를 관할하는 소방서에 설치하되, 소방본부 또는 소방서에 설치하는 경우에는 시·도의 규칙으로 정하는 바에 따르도록 되어 있다. 또한 이러한 규정에도 불구하고 지리적·지형적 여건상 신속한 출동이 가능한 경우, 대형재난이 발생한 경우, 그리고 그밖에 국민안전처장관이나 소방본부장이 필요하다고 인정하는 경우에는 국민안전처장관의 요청이나 지시에 따라 출동구역 밖으로 출동할 수 있도록 하고 있다.

1) Hong et al.(2008)에 따르면 구급 활동과 관련된 시간은 도입시간(activation time, 신고 접수 후부터 구급차의 출동까지 걸리는 시간), 반응시간(response time, 구급차 출동부터 현장 도착까지 걸리는 시간), 현장시간(scene time, 현장 도착부터 처치 후 현장 출발까지 걸리는 시간), 이송시간(transport time, 신고 접수 후부터 병원 도착까지 걸리는 시간), 총 이송시간(total transport time, 신고 접수 후 병원 도착까지 걸리는 시간)으로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 이 중에서 신고 시점부터 현장 도착까지 소요되는 시간(도입시간 + 반응시간)만을 논의 대상으로 함.

2.2 선행 연구 고찰

본 장에서는 특정 지역을 대상으로 GIS 기반 공간 분석을 통해 구조·구급 활동 현황을 분석함으로써 구급 취약지역을 탐지하고, 이에 대한 해결책을 제안하는 연구를 대상으로 고찰하였다.

먼저, Hong et al.(2008)은 대구광역시에서 구급대에 의해 실제로 이송이 이루어진 사건을 대상으로 GIS 분석을 통해 환자 발생 위치, 구급대의 위치, 그리고 병원의 위치를 좌표화하여 환자 발생 지점과 구급대 및 병원 간의 직선거리를 분석하고 구급차의 평균 이동속도를 계산하였다. Jung et al.(2012)은 대구광역시의 가로망 데이터를 이용하여 각 권역 내에 위치한 건축물에 대해 구조대의 접근 취약성을 분석하였다. 이때 취약지로 도출된 지역의 건축물을 대상으로 지리적 특성을 고려하여 행정구역에 기초한 관할 구역 재조정을 실시하였으며, 증설이 불가피한 권역은 법적 근거 하에 구조대 후보지를 설정하여 취약 건축물의 감소 효과를 파악하였다. Oh et al.(2012)은 경상북도의 구조·구급 활동 데이터를 바탕으로 구급대의 도착 지체 현황을 파악하고, 출동 배치의 효율성에 대해 분석하였다. 또한 구조·구급 서비스에 대한 취약지역을 7가지 유형으로 도출하고, 기종점 OD 행렬(OD Cost Matrix) 분석 기법을 이용하여 도로 네트워크상 최단거리에 위치한 시설에서 출동이 이루어지도록 구조·구급 서비스망 개선안을 제안하였다. Koo and Yoo(2012)는 진주시를 대상으로 GIS 네트워크 분석을 통해 소방권역을 출동 시간별로 구분하여 취약지역 등 현황을 분석하였다. Yoo and Koo(2013)는 진주시에 설치된 119안전센터를 대상으로 소방 서비스 취약지역 현황을 분석하고, 취약지역을 감소시키기 위한 방법으로 기종점 OD 행렬 분석 기법을 이용하여 소방권역을 분석하였다.

위의 연구들은 모두 연구 방법으로 네트워크 분석 등의 GIS 공간 분석 기법을 활용하고 있으나 그 결과가 단순히 현황 분석에 그치거나 구급 취약지역 감소를 위한 권역 조정을 실시할 때 그 결과가 행정구역 중속적이라는 한계점이 있었다. 본 연구에서는 기존 행정구역 중심의 권역 설정에서 벗어나 소방관서로부터 구급대가 출동할 때 최대한의 골드타임(4분)을 지킬 수 있는 권역을 생성하는 것을 목표로 하였다.

기존의 연구는 권역분석을 통해 구급 취약지를 탐색하고 기종점 OD 행렬을 이용하여 단순히 소방권역을 확인하거나 조정안을 제안하는 정도에 머물렀다(Song, 2011; Koo, 2013; Son and Yoo, 2013; Jung et al., 2012; Conweh, 2012). 그러나 본 연구에서는 실제 신고 위치와 출동한 소방관서 위치 간의 연결성을 기반으

로 하여 구급차 출동의 비효율성을 문제점으로 파악하였으며, 가상의 신고 지점에 대해 각각 최적의 소방관서를 배치하고 이를 근집화함으로써 보다 효율적이고 합리적인 응급의료서비스 권역을 도출하는 것에 초점을 두었다.

3. GIS 네트워크 분석을 활용한 대전광역시 119구급대의 효율적 배치 방안 도출

3.1 대상지 개요

본 연구의 실험지역인 대전광역시는 총 5개의 구로 이루어져 있고 약 150만 명의 인구가 거주하고 있으며 총 면적은 약 540km²이다(Table 1). 또한 대전광역시는 지형적으로 산으로 둘러싸인 분지의 형상을 하고 있으며, 도심의 가장자리에는 한반도를 관통하는 여러 고속국도의 지선과 고속도로가 놓여 있어 각 지역으로의 이동이 편리하다는 특성을 가지고 있다.

대전광역시에서는 현재 총 5개의 소방서와 26개의 구급차를 보유한 소방관서(119안전센터)를 보유하고 있다(Table 2).

Table 1. Daejeon metropolitan city statistics

Division	Dong-gu	Jung-gu	Seo-gu	Yuseong-gu	Daedeok-gu	Total	
Population	243,646	259,061	495,601	329,022	199,984	1,527,314	
Area	km ²	136.67	62.13	95.48	177.28	68.68	540.24
	%	25.30	11.50	17.67	32.82	12.71	100.00

Table 2. Fire and rescue departments and assigned centers

Fire and Rescue Departments	Assigned Centers	Areas	
		km ²	%
Jungbu	Sanseong, Won-dong, Busa, Sannae, Yongun, Gayang	145.69	26.97
Seobu	Galma, Taepyeong, Tanbang, Wolpyeong, Dunsan	20.15	3.73
Dongbu	Beop-dong, Daehwa, Deogam, Munpyeong, Songchon	70.88	13.12
Bukbu	Doryong, Jeonmin, Guam, Gung-dong, Noeun	131.13	24.27
Nambu	Boksu, Munhwa, Sanseong, Gasuwon, Wonnae	172.40	31.91
Total		540.25	100.00

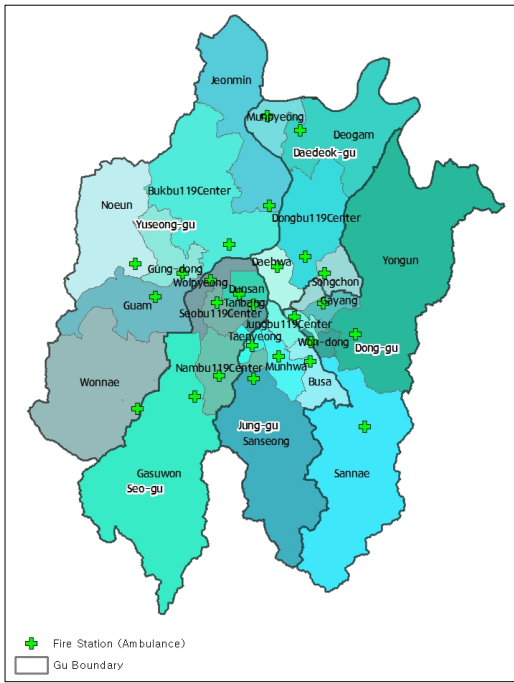


Figure 1. Assigned region and Gu boundaries

소방관서를 관할 영역별로 표시한 지도는 Fig. 1과 같으며, 소방관서 중 Sansong(산성), Galma(갈마), Beop-dong(법동), Boksu(복수)의 경우 각각 Jungbu(중부), Seobu(서부), Dongbu(동부), Nambu(남부) 소방서와 같은 지점에 위치하고 있기 때문에 본래 관서의 이름을 대신 소방서의 이름을 사용하였다.

3.2 데이터 구축 및 실험 방법

실험을 위해 사용한 데이터는 2014년 1월 1일부터 12월 31일까지 한 해 동안 발생한 실제 응급 상황 신고 이력과 신고 지점의 X, Y 좌표, 소방관서가 소유하고 있는 장비 현황, 그리고 각 소방관서의 X, Y 좌표가 기록된 스프레드시트이다. 지오코딩을 통해 스프레드시트 형태의 데이터를 공간정보화한 결과 총 36,846개의 신고 위치와 각 소방관서의 구급차 소유 현황을 파악할 수 있었다.

기존 연구의 경우 대부분이 네트워크 분석을 실시할 때 국가교통데이터베이스(KTDB)에서 제공하는 도로망도를 이용하였으나(Koo and You, 2012; Lee et al., 2006; Ma and Kim, 2011; An et al., 2011; Baik and Han, 2012; Oh and Jeong, 2005), 이는 취득과 접근이 편리한 반면에 소축척(1 : 25,000)수치지도를 기반으로 구축되었기 때문에 소로가 누락되어 있어 현실적이지

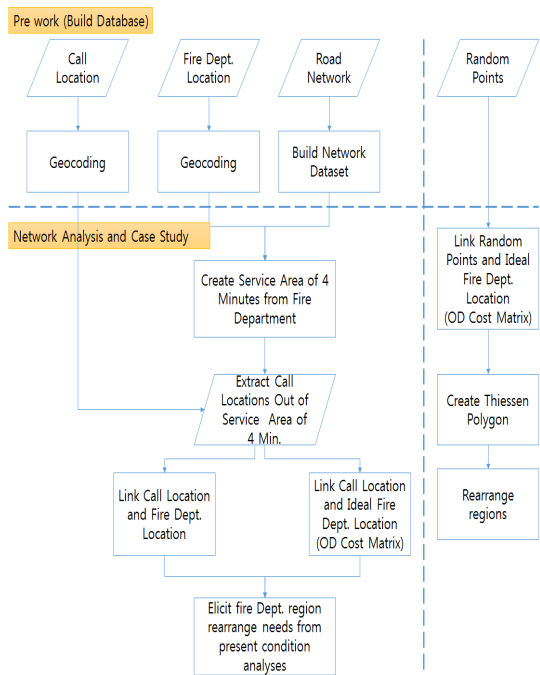


Figure 2. Workflow

못하다는 한계가 있는 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 현실성을 최대한 반영하기 위하여 비교적 도로망이 잘 구축되어 있는 민간기업의 내비게이션 구축용 도로 네트워크 데이터를 이용하였다.

본 연구의 흐름을 도시화한 그림은 Fig. 2와 같다. 먼저, 실제 신고 데이터, 소방관서의 위치, 그리고 도로 네트워크 데이터를 공간정보화하였다. 두 번째로 도로 네트워크상에서 각 소방관서로부터 골든타임 권역 밖에서 발생한 사건을 구급 취약지에서 발생한 사건이라고 가정하고, 해당 사건에 대해 실제로 출동한 소방관서의 위치와 도로 네트워크상에서 가장 근접한 소방관서의 위치를 비교하였다. 마지막으로 실험 지역 내에서 무작위로 가상의 신고 지점을 발생시켜 각 신고 위치에 대한 최적의 소방관서를 할당함으로써 보다 효율적인 새로운 응급의료서비스 권역을 제안하였다.

3.3 현황 분석 및 구급 취약지 도출

ArcMap 10.3.1에 탑재되어 있는 네트워크 분석 기능 중 권역 분석 기능, 기중점 OD 행렬, 그리고 그 외 ArcMap의 기본적인 분석 도구들을 이용하여 실험을 진행하였다.

대전광역시에서 2014년 한 해 동안 발생한 응급 상황에 대한 대응 현황을 파악하기 위해 앞에서 지오코딩

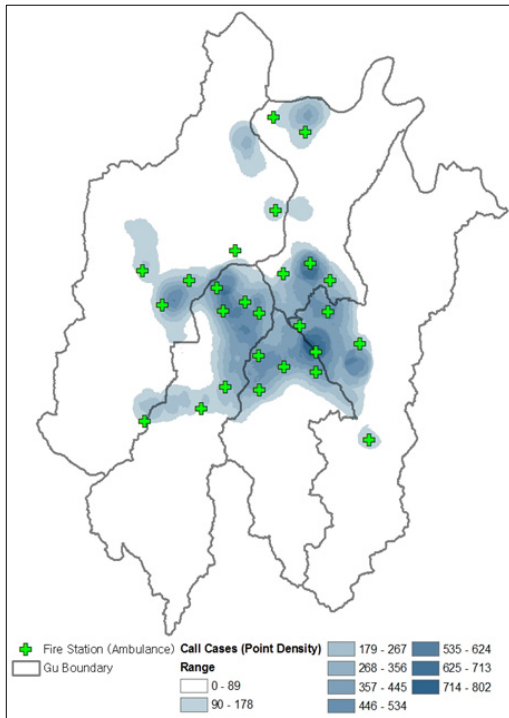


Figure 3. Ambulance dispatched cases

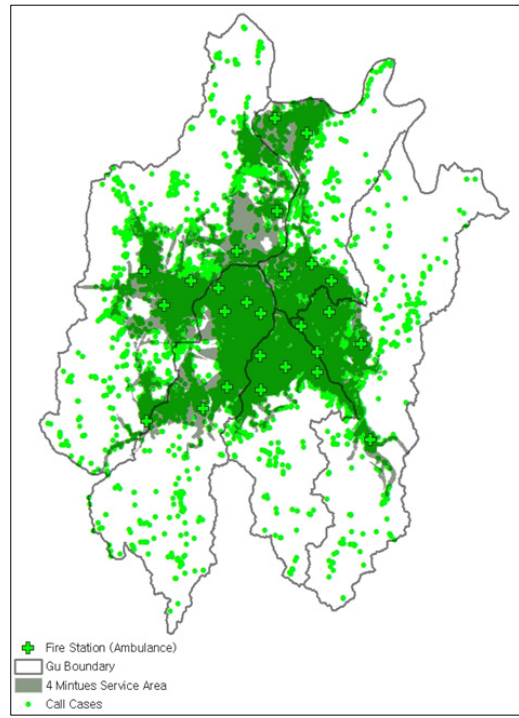


Figure 4. Dispatched cases and service area

을 통해 공간정보화한 데이터를 바탕으로 전체 신고 위치에 대해 밀도분석²⁾을 실시하였으며, 그 결과를 소방관서의 위치 포인트와 중첩하여 나타내었다(Fig. 3).

앞에서 밀도분석을 통해 도출된 결과를 보면, 대부분의 사건이 소방관서 부근에서 발생한 것처럼 보인다. 그러나 각 소방관서로부터 골든타임(4분) 내로 도착 가능한 구급 서비스 권역을 도출한 결과, 실제 신고 데이터 중 약 8%에 해당하는 3,173건의 사건이 골든타임의 범위 밖에서 발생한 것으로 파악되었다(Fig. 4).

구급차가 출동할 때 도로 위의 다양한 사건으로 인해 도착 시간이 더욱 지연될 수 있기 때문에 응급의료서비스 권역 외에서 발생한 사건의 경우 현실적으로 골든타임 내에 구급대의 도착이 불가능한 구급 취약지라고 볼 수 있다. 이렇게 도출된 구급 취약지를 살펴보면, 대부분이 대전광역시외의 가장자리 지역에 분포하고 있기는 하나, 소방관서와 근접한 도심지에도 취약지가 존재하는 것으로 나타났다. 이는 일방통행로나 막다른길 등 도심지 내부에도 도로 네트워크 상황이 좋지 못한 지역이 존재하기 때문인 것으로 보인다.

2) 반경 850m, 해상도 30m

3) 도로 링크의 최대속도를 기준으로 했을 때 이동 시 걸리는 시간을 계산함.

3.4 기종점 OD 행렬을 이용한 구급 취약지 분석

기종점 OD 행렬은 기본적으로 그래프상 두 지점 간의 최소거리를 탐색하는 ‘최단 경로 문제(shortest path problem)’와 유사하며, 본 연구에서 사용한 기종점 OD 행렬은 Dijkstra’s 알고리즘(Dijkstra, 1959)을 기반으로 하고 있다. 기종점 OD 행렬과 최단 경로 문제와의 차이점은 단순히 연산 시간과 지도 위에서 보여주는 방식이 다르다는 것이다(esri, 2012a). 최단 경로 문제의 경우, 도로 네트워크상에서 기점과 종점의 실제 경로를 보여주는 반면에 기종점 OD 행렬은 기점과 종점을 직선으로 표현한다. 이때 행렬의 속성도 직선거리로 표출되나 그 거리는 유클리디안 거리가 아닌 도로 네트워크의 임피던스를 고려한 실제 이동 거리이다. 기종점 OD 행렬은 다수의 기점과 다수의 종점을 한 번에 연산할 수 있고(esri, 2012b), 기점과 종점의 연결성을 직선으로 표현하기 때문에 직관적인 파악이 가능하다는 장점이 있다. 즉, 기종점 OD 행렬은 다양한 신고 위치에 대해 출동 가능한 최적 소방관서의 배치 방안을 파악하는데 가장 적합한 방법이라고 할 수 있다. 기종점 OD 행렬의 기본이 되는 최단 경로 문제 중 Dijkstra’s 알고리즘의 의사코드는 아래와 같다(Yan, 2014). 여기서 소스 노드(s)는 모든 노드(v)의 원소이다($s \in V, v \in V$).

Dijkstra algorithm pseudo code

1. $dist[s] <- 0$
: 소스 노드를 0으로 설정
2. for all $v \in V - \{s\}$
: 모든 노드에서
3. do $dist[v] <- \infty$
: 다른 모든 거리를 무한으로 설정
4. $S <- \emptyset$
: 방문한 노드가 없다고 설정
5. $Q <- V$
: 방문 대기 목록은 모든 노드를 포함하고 있음
6. While $Q \neq \emptyset$
: 방문 대기목록이 비어있지 않으면
7. do $u <- \min distance(Q, dist)$
: Q 원소를 최소 거리로 설정
8. $S <- S \cup \{u\}$
: u를 방문한 노드로 더함
9. for all $v \in neighbor[u]$
: 모든 노드는 대기목록 u의 원소이며
10. do if $dist[v] > dist[u] + w(u,v)$
: 만약에 새로운 최소거리를 찾으면
11. then $d[v] <- d[u] + w(u,v)$
: 새로운 최소거리를 경로에 추가함
12. return dist
: 노드를 출력함

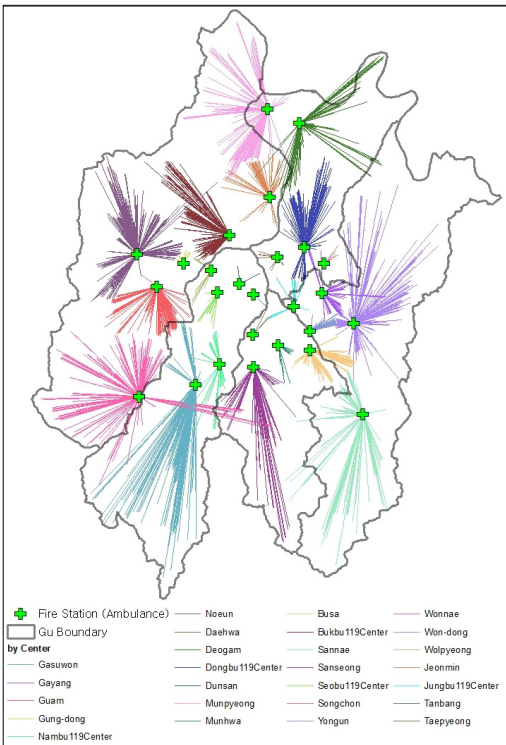


Figure 5. Dispatched cases according to OD Matrix

위 의사코드를 기반으로 하는 기중점 OD 행렬을 이용하여 각 소방관서별 출동 현황을 지도상에 서로 다른 색상을 이용하여 나타내었으며, 각 신고 지점은 전체 데이터가 아닌 응급의료서비스 취약지에서 발생한 사건만을 대상으로 하였다(Fig. 5).

각 신고 위치별로 실제 출동한 소방관서와 출동 가능한 최적의 소방관서를 비교하기 위한 전 단계로, 신고 위치 데이터에 기록되어 있는 실제 출동 센터를 확인함으로써 구급차의 출동 현황을 파악하였다. 그리고 그 결과와 기중점 OD 행렬을 통한 연산 결과 간의 용이한 비교를 위해 지도상에서 신고 위치와 소방관서를 직선으로 연결하는 방식으로 시각화하였다(Fig. 6).

Fig. 5와 Fig. 6의 결과를 비교한 결과, 사건 위치와 더 근접한 소방관서가 있음에도 불구하고 다른 관서에서 출동한 경우는 총 1,279건으로, 이는 취약지에서 발생한 전체 사건의 약 40%에 해당하는 수치이다(Fig. 7). 이를 소방대원들이 수기로 기록하는 구급활동일지를 통해 확인한 결과, 1,279건의 평균 이동 시간은 14

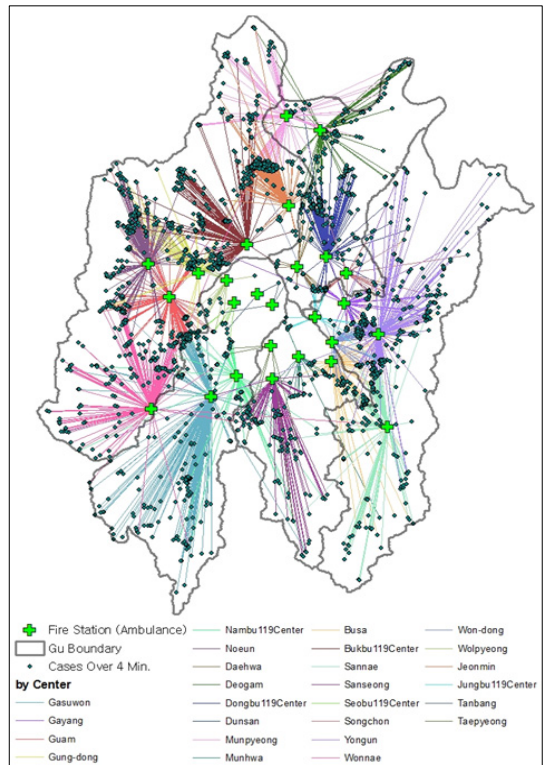


Figure 6. Dispatched cases according to EMS DB

4) 소방관서에서부터 출발하여 사건 위치까지 도착하는 데 소요된 시간을 수기로 기록한 일지임.

분으로 파악되었다. 또한 동일한 구급활동일지를 통해 구급 취약지에서 발생한 전체 사건에 대한 평균 이동 시간을 확인한 결과, 13.85분으로 파악되었다.

사건이 발생한 지점과 인접한 소방관서가 있음에도 다른 관서에서 출동한 1,279건의 케이스에 대해 가장 근접한 소방관서로부터 출동이 이루어졌을 이상적인 경우를 가정하고 기종점 OD 행렬을 이용하여 분석한 결과, 평균 이동 시간은 6.12분으로, 실제 소요된 시간(14분)보다 절반 이상을 단축할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 구급 취약지에서 발생한 전체 신고 데이터에 대해 모두 이상적인 출동을 하였다고 가정하였을 경우

의 평균 이동 시간은 6.17분으로 도출되었다. 마지막으로, 전체 사건에 대해서 모두 이상적인 소방관서에서 출동한 경우를 가정하고 기종점 OD 행렬 분석을 실시한 결과, 평균 이동 착시간은 2.48분으로 도출되었다 (Table 3).

또한 대전광역시 소방관서 관할구역의 경계, 신고 위치, 그리고 해당 사건에 배치된 소방관서의 위치를 확인한 결과, 각 소방관서가 관할하지 않는 지역에서 발생한 사건임에도 불구하고 출동하는 경우가 많았다. 일례로, Fig. 8은 남부(Nambu) 소방관서의 관할구역과 2014년 한해 출동한 사건을 나타내고 있다.

2014년 한 해 동안 남부 소방관서의 관할지역 내에서 발생한 사건에 대해 해당 관서가 출동한 경우는 1,693건, 관할지역 밖에서 발생한 사건에 대해 출동한 경우는 368건으로, 이 두 경우를 합함으로써 남부 소방관서가 1년 동안 출동한 건수는 총 2,061건인 것을 확인할 수 있다. 그러나 실제로 남부 소방관서의 관할지역 내에서 발생한 사건은 이보다 많은 2,603건으로, 나머지 542건은 남부 소방관서가 아닌 다른 관서에서 출동한 것을 알 수 있다. 이러한 내용을 대전광역시 내에 위치한 26개의 소방관서에 대해 적용한 결과는 Table 4와 같다.

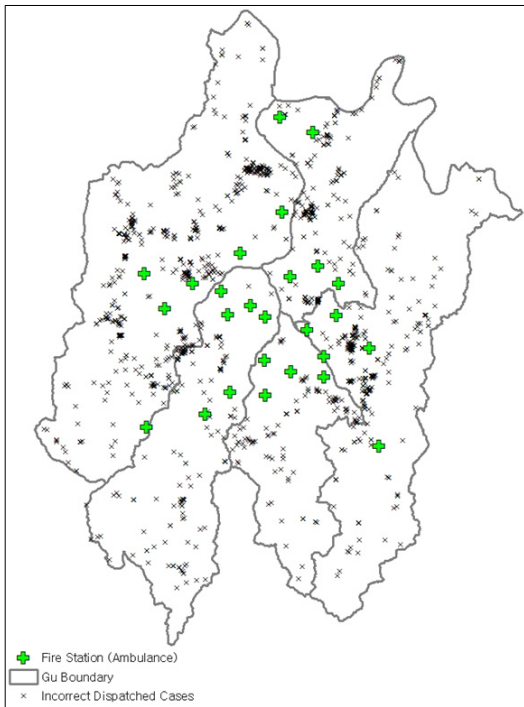


Figure 7. Incorrect dispatched cases

Table 3. Average time of arrival by cases

Cases	Average Arrived Time (Minutes)
Incorrect Dispatched Cases (According to EMS Records)	14.00
Dispatched Cases (According to EMS Records)	13.85
Incorrect Dispatched Cases Rearrange	6.12
Cases out of Service Area Rearrange	6.17
Ideal Dispatched Cases for All	2.48

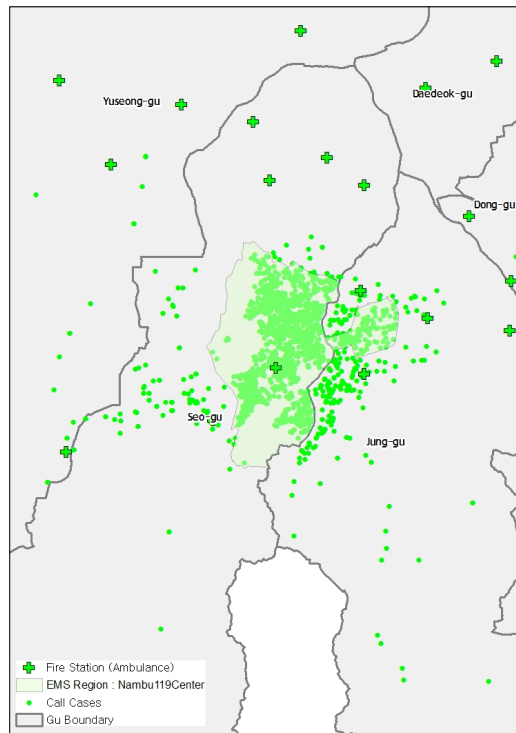


Figure 8. Nambu region and dispatch cases

Table 4. Dispatch cases in and out of the assigned regions of each department

Fire Dept	Inside of the Dept Region	Outside of the Dept Region	By Assigned Dept	Inside of Region	Assigned to Out of Region
Gasuwon	878	162	1,040	1,350	310
Gayang	883	659	1,542	1,320	-222
Seobu	1,100	485	1,585	1,858	273
Guam	1,230	441	1,671	1,817	146
Gung-dong	596	460	1,056	1,091	35
Noeun	651	346	997	889	-108
Daehwa	749	124	873	1,038	165
Deogam	834	348	1,182	1,035	-147
Bukbu	605	416	1,021	1,089	68
Dunsan	888	509	1,397	1,603	206
Munpyeong	362	732	1,094	646	-448
Munhwa	896	439	1,335	1,380	45
Dongbu	2,166	358	2,524	2,457	-67
Nambu	1,693	368	2,061	2,603	542
Busa	1,058	1,004	2,062	1,650	-412
Sannae	643	130	773	1,063	290
Sanseong	805	410	1,215	1,113	-102
Jungbu	1,511	735	2,246	2,368	122
Songchon	867	278	1,145	1,623	478
Yongun	1,441	290	1,731	2,142	411
Wonnae	664	335	999	814	-185
Won-dong	627	1,322	1,949	1,178	-771
Wolpyeong	1,134	372	1,506	1,614	108
Jeonmin	593	134	727	988	261
Tanbang	714	765	1,479	1,083	-396
Taepyong	739	897	1,636	1,034	-602
Total	24,327	12,519	36,846	36,846	0

상기 결과를 분석한 결과, 각 관서에서 실제로 출동한 전체 사건 중 해당 관서의 관할지역 밖에서 발생했음에도 불구하고 출동한 비율이 약 1/3(12,519/36,846)인 것을 알 수 있었다.

이러한 비율을 지도상에서 시각화한 결과가 Fig. 9이며, 문평(Munpyeon)과 원동(Won-dong)의 경우를 보면 약 55%에서 68%에 해당하는 신고 사건에 대해서 해당 소방관서가 담당 관할지역이 아닌 외부 지역으로 출동하였음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 통해 법률로 지정된 소방관서의 관할지역이 실제 상황에 제대로 적용되지 못하고 있으며, 이에 대한 개선이 필요하다고 보았다. 따라서 본 연구에서는 GIS 네트워크 분석을 활용하여 현재 소방관서의 응급의료서비스 권역을 효율적으로 재조정하는 방안을 제시하고자 하였다.

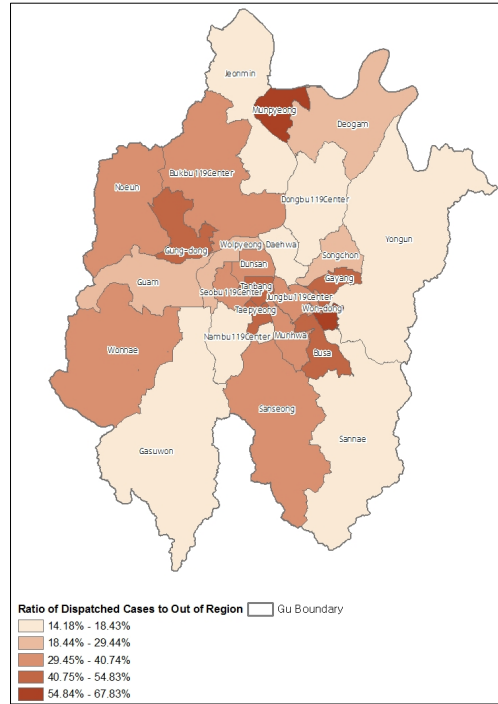


Figure 9. Dispatched cases to out of assigned region

3.5 GIS 네트워크 분석을 활용한 응급의료 권역 재조정

소방서는 원래 인구밀도와 도시의 규모 등을 고려하여 설치하게 되나, 소방권역의 경우 통상적으로 행정구역경계의 집합으로 이루어져 있다(Yoo and Koo, 2013). 그러나 이렇게 설정된 권역의 경우 지형지물과 도로 네트워크 등 접근성에 대한 고찰이 결여되어 있는 단점이 존재하며, 앞에서 실시한 분석을 통해서도 현재 관할구역이 제 기능을 하지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 GIS 네트워크 분석을 활용하여 소방관서의 관할 권역 재조정 방안을 제시하고자 한다.

이를 위해 랜덤으로 생성된 가상의 신고위치에 대해 각각 최적의 소방관서를 배치하고 그 결과를 기반으로 하여 Thiessen Polygon(Thiessen, 1911)을 생성하는 방안을 사용하였다. Thiessen Polygon은 강수량을 측정하는 기구가 없는 곳에서도 이를 측정하기 위해 고안된 기법으로, 포인트를 폴리곤으로 변환하기 위한 방법으로도 사용되며, 근접성 분석과 권역 설정을 위한 연구에도 사용되었다(Lee et al., 2013; Park, 2004). 본 연구에서도 포인트로부터의 공간적 권역을 설정하는

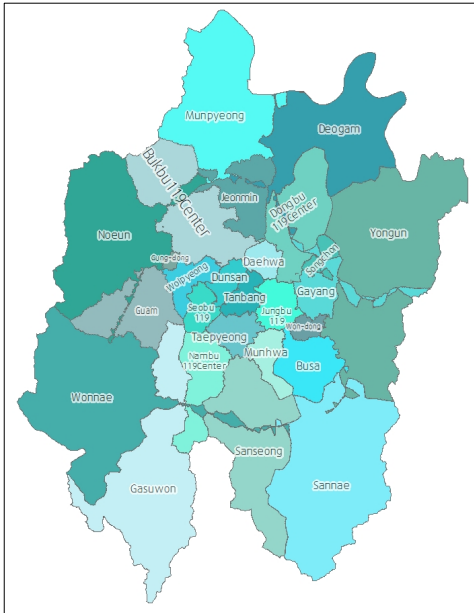


Figure 10. Improved regions

것을 목표로 하기 때문에 Thiessen Polygon을 사용하였다.

실험을 위해 대전광역시 경계 내에서 무작위로 생성한 80만 개의 가상 신고 위치(포인트)와 현재 존재하고 있는 26개의 소방관서 간의 기종점 OD 행렬 분석을 실시하였으며 이를 바탕으로 Thiessen Polygon을 생성하였다.

Fig. 10은 가상의 신고 위치에 최적 소방관서 위치의 속성을 부여한 Thiessen Polygon의 군집 결과, 즉 새로운 구급대 관할 권역을 시각화한 결과이다.

본 실험 결과에 따라 대전광역시 응급의료서비스 권역을 재조정할 결과, 평균 이동 시간인 9.93분에서 5.53분으로, 4.4분이 단축되었음을 확인할 수 있었다. 또한 개선된 면적의 경우 평균적으로 32.07km²에서 20.72km²로, 11.35km²가 감소된 것으로 확인되었다(Table 5).

개선된 관할 구역의 경우 도로 네트워크를 따라 생성된 것이기 때문에 다른 관할 구역을 침범하는 경우가 발생하였다. 예를 들어, 가수원(Gasuwon)이 담당하는 영역이 원내(Wonnae)에 의해 둘로 나뉘게 된다(Fig. 10). 확인 결과, 이는 가수원의 관할지역에서 원내의 관할지역까지 연결되는 고속국도 제300호선(대전남부순환고속도로) 때문인 것으로 보인다.

이렇게 고속도로 및 고속화도로에 의해 관할 구역이 둘로 나뉜 것처럼 보이는 현상은 가수원 뿐만 아니라 가야강(Gayang), 덕암(Deogam), 노은(Noeun), 용운

Table 5. Summary statistics(Areas in square kilometers, time in minutes)

Fire Dept	Original Region Area	Improved Region Area	Original Time of Arrival (2014)	Improved Time of Arrival (2014)	Improved Time of Arrival (800K Random Pnts)
Gasuwon	104.46	47.66	15.38	4.13	12.79
Gayang	6.00	9.46	10.84	2.41	3.53
Seobu	6.92	16.74	9.23	2.41	5.06
Guam	29.92	0.77	11.22	2.30	3.40
Gung-dong	16.11	12.55	10.32	2.08	3.73
Noeun	44.27	44.03	8.74	3.08	5.75
Daehwa	9.65	3.70	9.32	2.44	2.07
Deogam	45.67	37.78	10.79	2.67	14.10
Bukbu	63.54	18.76	9.02	2.35	7.27
Dunsan	6.53	3.44	9.51	1.52	1.54
Munpyeong	10.70	40.35	8.78	3.30	6.24
Munhwa	9.27	5.46	10.11	1.74	2.05
Dongbu	32.63	11.31	9.63	2.31	4.08
Nambu	17.16	27.75	11.74	2.96	4.32
Busa	10.93	57.00	10.75	3.28	8.89
Sannae	81.69	32.68	9.14	2.37	10.26
Sanseong	65.92	4.40	10.21	1.87	2.29
Jungbu	7.74	2.62	9.47	2.39	4.85
Songchon	11.09	68.63	10.42	3.54	14.46
Yongun	115.37	57.25	8.96	3.47	12.77
Wonnae	69.21	2.45	9.13	1.98	2.26
Won-dong	3.33	5.76	9.18	1.68	2.55
Wolpyeong	9.05	12.15	9.26	2.16	3.33
Jeonmin	49.13	6.09	9.43	2.17	2.18
Tanbang	3.98	4.24	8.69	1.84	1.97
Taepyong	3.46	5.75	8.99	2.02	1.97
Average	32.07	20.72	9.93	2.48	5.53

(Yongun) 등에서도 확인되는데, 이는 고속국도 제300호선(대전남부순환고속도로), 고속국도 제251호선(호남고속도로지선), 고속국도 제1호선(경부고속도로), 고속국도 제35호선(통영대전고속도로), 고속국도 제30호선(당진영덕고속도로)로 인한 것으로 보인다.

4. 결론

소방서 및 재난 안전 관련 권역 조정을 제안한 기존 연구에서는 관서를 이전하거나 관서의 증설이 요구되는 경우 행정동 경계에 따라 기존 권역을 재편하고자 하였다. 반면에 본 연구에서는 기종점 OD 행렬을 이용하여 소방관서와 가상 신고 위치 간의 최단거리를 계산

하고, 각 신고 위치로부터 이상적인 관서를 할당하였으며 이를 가상 신고 위치의 속성에 추가하였다. 이를 바탕으로 Thiessen Polygon을 이용하여 응급의료서비스 권역을 재조정하였다. 실험 결과, 소방관서부터 신고위치까지의 평균 이동 시간이 기존 9.93분에서 5.53분으로, 4.4분 단축되었으며, 대전지역 소방관서당 평균 관할 권역의 면적도 32.07km²에서 20.72km²로, 11.35km²가 축소된 것을 확인하였다. 따라서 이동 시간과 관할 면적의 관점에서 본 연구에서 제안한 새로운 권역이 기존의 소방권역에 비해 효율적인 것으로 보인다.

본 연구의 한계점으로는 각 사건에 대해 최적의 관서를 배치할 때 도로 네트워크를 기준으로 하기 때문에 도시 내부에 순환 고속도로나 도시화고속국도 등이 위치하는 경우에는 한 권역이 다른 권역으로 인하여 단절되는 경우가 발생한다는 점이다. 이러한 경우에는 현 고속도로 순찰대와 연계하는 방법이나 독립적인 권역을 생성하여 관리하는 방법이 필요할 것으로 판단된다.

소방관서를 증설하거나 이동시키는 것은 예산과 관련된 여러 행정적 문제가 복잡하게 얽혀있어 가볍게 다룰 수 없는 문제이다. 따라서 소방관서의 응급서비스 품질을 향상시킬 수 있는 효율적인 방안은 GIS 분석을 통한 관할권역의 재조정이라고 할 수 있다. 또한 본 연구에서는 ‘서비스 제공자 중심의 권역 설정’이라는 기존 연구의 한계에서 벗어나 ‘서비스 수요자 중심의 권역’을 제공할 수 있는 방안을 제안하고자 하였다. 따라서 유관 기관에서 추후 소방권역을 재조정하고자 하는 경우, 본 연구가 참고할 만한 자료로서 유의미하게 사용할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토공간정보연구사업의 연구비지원(15CHUD-C061156-05)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahn, E. S., 2015, Last year seoul 119 Rescue team transport 901 people in 1,327 cases in a day, http://spp.seoul.go.kr/main/news/news_report.jsp?search_boardId=22142&act=VIEW&boardId=22142
- An, Y. S., Jang, S. M, and Lee, S. I., 2011, A study on the map of walk-and bicycle-access time to subway station using a shortest-part algorithm for Gangnam area of Seoul, The Seoul Institute, Vol. 12, No. 3, pp. 129-140.
- Baik, S. H., and Han, D. Y., 2012, A study on bicycle route selection using optimal path search, The Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 30, No. 5, pp. 425-433.
- Conweh, C., 2012, The use of GIS for effective and efficient emergency management: a case study of the Cardiff fire services in South Wales, Master's thesis, University of Glamorgan, Pontypridd, the United Kingdom.
- Cho, M, 2014, Year's 119 EMS arrival time within 'Golden Time' has been being delayed, <http://news.kukinews.com/article/view.asp?arcid=0008649011&code=46111201&cp=nv>
- Dijkstra, E. W., 1959, A note on two problems in connexion with graphs, Numerische mathematik, Vol. 1, No. 1, pp. 269-271.
- esri, 2012a, Closest facility analysis, http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Closest_facility_analysis/00470000004n000000/
- esri, 2012b, OD cost matrix analysis, <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00470000004r000000>
- Hong, K. H., Lee, K. J., Kim, J. T. and Lee, D. H., 2008, Severity-based analysis of prehospital transportation time using the Geographic Information System (GIS), Journal of the Korean Society of Emergency Medicine, Vol. 19, No. 2, pp. 153-160.
- Jung, G.-D., Hong, W.-H., Choi, J.-H., Kim, G.-S. and Lee, J.-S., 2012, A study on reorganization of rescue team by using analysis of accessibility on fire station area in Daegu city, Journal of the architectural institute of Korea planning & design, Vol. 28, No. 9, pp. 277-286.
- Koo, S., 2013, Accessibility analysis of the service area of fire station in Jinju, Master's thesis, Gyeongsang National University, Jinju, South Korea.
- Koo, S., and Yoo, H. H., 2012, An analysis of fire area in Jinju city based on fire mobilization time, Journal of the Korean society for geo-spatial information system, Vol. 20, No. 4, pp. 127-134.
- Lee, H., Lee, S.-I. and Cho, D., 2013, Exploring the spatiality of school choice through residential mobility: a preliminary case study of elementary school students in Seoul, Journal of the Korean Geographical Society, Vol. 48, No. 6, pp. 897-913.
- Lee, H. J., Park, B. H. and Jang, I. Y., 2006, Disaster-prevention system of transportation network

- used by GIS and seismic fragility analysis, Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 6, No. 2, pp. 25-35.
15. Ma, S., and Kim, H., 2011, Accessibility to welfare facilities for the aged through GIS network analysis : focused on inland areas in Incheon, The Korea Spatial Planning Review, Vol. 70, pp. 61-75.
 16. Oh, C. S., Lee, S., Lee, I. and Kho, S. Y., 2012, A spatial analysis about arrival delay and dispatch distribution of the 119 rescue-aid service utilizing GIS - Gyeongsangbuk-Do Case Study, Journal of the Korea society of civil engineers, Vol. 32, No. 1D, pp. 13-22.
 17. Oh, K., and Jeong, S.-H., 2005, An assessment of the spatial distribution of urban parks using GIS, Journal of the Korea Planners Association, Vol. 40, No. 3, pp. 189-203.
 18. Park, J.-M., 2004, A design and practical use of spatial data warehouse for spatial decision making, Master's thesis, Kyunghee University, Seoul, South Korea.
 19. Shin, Y., Oh, H., Lee, S., Im, C. and Kim, J., 2014. Suggestions for securing 'Golden Time' based on cognitive science, Proc. of 2014 HCI Korea, pp. 396-403.
 20. Son, S. R., and Yoo, H. H., 2013, Evacuation suitability assessment of shelters in disaster risk districts of Changwon city, Journal of the Korean society for geo-spatial information system, Vol. 21, No. 3, pp. 27-35.
 21. Song, H. J., 2011, Adjustment of the service area of fire station using GIS accessibility analysis : In the case of Seodaemoon-gu, Seoul City, Master's thesis, Sangmyung University, Seoul, South Korea.
 22. Thiessen, A. H., 1911, Precipitation averages for large areas, Monthly Weather Review, Vol. 39, No. 7, pp. 1082-1089.
 23. Yan, M., 2014, Dijkstra's algorithm, <http://math.mit.edu/~rothvoss/18.304.3PM/Presentations/1-Melissa.pdf>
 24. Yoo, H. H., and Koo, S., 2013, Fire district adjustment for improving fire service vulnerable areas in Jinju, Journal of the Korean society for geo-spatial information system, Vol. 21, No. 1, pp. 19-26.