

공간 최적화 모형을 이용한 자동심장충격기(AED)의 커버리지 평가: 강남구를 사례로*

김감영**

Evaluating Coverage of Automated External Defibrillator (AED) Using a Spatial Optimization Model: The Case of Gangnam-Gu*

Kamyoung Kim**

요약 : 심정지가 발생한 후 심폐소생술이나 제세동과 같은 의료 처리를 빨리할수록 환자의 생존율은 높아진다. 우리나라는 일반인의 자동심장충격기(AED) 접근 및 활용을 증대할 목적으로 공공장소에 이를 설치하고 있으며 그 수가 빠르게 증가하고 있다. 본 연구의 목적은 법률에 따라 의무적으로 설치되고 있는 AED의 서비스 적절성을 평가하고 수요에 효과적으로 대응할 수 있는 AED의 보급 방안을 모색하는 것이다. AED 수요의 공간적 분포를 재현하기 위하여 지역의 성별, 연령별 인구 및 심정지 발생률에 기초하여 공간 단위 심정지 발생 가능 인구를 추정하였다. 이미 설치된 AED는 재현된 총 수요의 35%만을 커버하여 그 효율성이 매우 낮았다. 기존 AED의 위치를 유지한 채 200개의 AED를 MCLP를 이용하여 추가할 경우 총 수요에 대한 커버리지 비율은 배 가까이 향상되었다. 또한, 이미 설치된 것과 동일한 458개의 AED를 재배치할 경우 커버리지 비율은 기존 체계와 비교하여 2배 이상 향상되었다. 이러한 분석 결과들은 기존 설치된 AED의 비효율성과 수요에 기반한 공간 최적화와 같은 전략적 접근이 필요함을 함께 보여준다.

주요어 : 추정된 병원 전 심정지 환자, 자동심장충격기(AED), 커버리지, MCLP, 공간 최적화

Abstract : After cardiac arrest, the faster the medical treatment, such as CPR or defibrillation, the higher the patient's survival rate. Accordingly, to increase the access and use of Automated External Defibrillators (AEDs) by laypersons, they have been installed in public places, and the number is increasing rapidly. The purpose of this paper is to evaluate the service adequacy of AEDs, which is mandatory in accordance with the law, and to find an alternative dissemination method of AEDs that can effectively cover to demand. In order to represent the spatial distribution of demand for AEDs, this study estimated the possible population of cardiac arrest in a spatial unit based on the population by gender and age and the incidence of cardiac arrest by gender and age. The already installed AEDs were very low in efficiency, covering only 35% of the total demand represented. If 200 AEDs were added using maximal covering location problem (MCLP) while maintaining the location of the existing AEDs, the coverage rate to the total demand increased by nearly twice. In addition, when relocating the same 458 AEDs that have already been installed, the coverage rate is more than doubled compared to the existing system. These analysis results simultaneously show the inefficiency of existing installed AEDs and the need for a strategic approach such as spatial optimization based on demand.

Key Words : Estimated out-of-hospital cardiac arrest (OHCA), Automated External Defibrillators (AEDs), Coverage, Maximal Covering Location Problem (MCLP), Spatial optimization

*이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2019S1A5A2A01043585).

**경북대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Kyungpook National University, kamyoungkim@knu.ac.kr)

I. 연구의 필요성 및 목적

통계청의 사망원인통계에 따르면, 2017년 285,534명의 사망자 중에서 심장질환으로 사망한 사람은 10.8%인 30,852명으로 각종암(28.1%) 다음으로 높게 나타났다(통계청, 2018). 그리고 사망원인에서 심장질환이 차지하고 있는 비중은 시간이 지나면서 증가하고 있다. 2008년 심장질환은 사망원인 중 세 번째였지만 2013년부터 두 번째로 상승하였고, 심장질환에 의한 사망률이 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 경향은 앞으로도 지속될 것이다. 왜냐하면, 심장질환은 각종암과 함께 퇴행성 질환에 속하므로 고령화로 인하여 고령 인구수와 비율이 절대적으로 증가하게 되면 심장질환에 의한 사망률도 자연스럽게 증가할 것이기 때문이다. 질병관리청의 급성심장정지조사에 따르면 급성심정지 환자의 연도별 발생 건수 또한 2006년 19,480건에서 2019년 30,782건으로 1.58배 증가하였다. 한편, 의료기술의 발달과 긴급의료체계(Emergency Medical System)의 확대 등으로 생존률 또한 증가하여, 2006년 2.3%에 불과했던 생존률(생존퇴원률)이 2017년 8.7%로 3.8배 증가하였다(보건복지부·질병관리본부, 2017). 이러한 생존률의 증가에도 불구하고 미국(10.6%, 2015년)¹⁾, 영국(11.8%, 2018년 7월 기준)²⁾, 스웨덴(10.6%, 2011년)³⁾ 등과 비교하였을 때 여전히 낮은 수준이다.

심정지 환자 발생 시점과 의료 처치 사이의 시간이 1분 증가할 때마다 생존률은 약 10%씩 감소하는 것으로 보고되고 있다(Larsen *et al.*, 1993; Valenzuela *et al.*, 1997; Estes III, 2011). 그런데 심정지 환자가 발생한 후 빠르게 심폐소생술이나 제세동(defibrillation)이 시행되면 생존률은 크게 향상된다(Capucci *et al.*, 2002; Myerburg *et al.*, 2002; 김성은 등, 2005; 이현희 등, 2008; 최근명·이세훈, 2011; 박일수 등, 2014). 공공장소에 AED를 설치하는 것은 병원 전 심정지 환자(out-of-hospital cardiac arrest, 이하 OHCA)에게 첫 번째 제세동을 하는 시간을 줄이는 가장 효과적인 방안으로 인식되고 있고(Weaver *et al.*, 1988; Becker *et al.*, 1998; Folke *et al.*, 2009), 이러한 이유로 미국, 영국, 일본, 스웨덴, 덴마크 등 주요 선진국의 경우 공공장소에서 제세동을 수행할 수 있는 장비인 자동심장충격기(Automated External Defibrillators, 이하 AED)⁴⁾를 보급하는 공공접근 제세동 프로그램(public-access defibrillation program)을 도입하였다

(Weisfeldt *et al.*, 1995; Public Access Defibrillation Trial Investigators, 2004; Kitamura *et al.*, 2010). 우리나라의 경우 ‘응급의료에 관한 법률(응급의료법) 제47조 2항에 심폐소생을 위한 응급 장비의 구비 의무가 2007년 12월에 신설되었고, 2008년 6월부터 시행되고 있다. 이에 따라 공공보건의료기관, 구급대에서 운영하는 구급차, 여객항공기와 공항, 철도차량 중 객차, 일정 규모 이상의 선박, 일정 규모 이상의 공동주택, 그 외 철도역대합실, 여객터미널대합실, 카지노, 경마장, 운동장 및 중앙행정기관 등 다중이용시설에 AED의 설치가 의무화되었다.

이처럼 AED 설치에 관한 법률 조항이 신설되고 의무화되면서 공공장소에 AED의 보급이 보편화되었고, 설치 대수가 빠르게 증가하고 있다. 자동심장충격기의 등록이 시작된 2012년도에 전국 보급 대수는 6,488대(이미진, 2017)였지만, 이후 빠르게 증가하여 2017년에는 32,563대가 되었다(중앙응급의료센터, 2018). 5년 동안 공공장소에 설치된 AED의 수는 5배 이상 증가하였고, AED의 수가 늘어나면서 중앙의료센터에서는 일반인들이 AED의 위치를 찾을 수 있도록 검색 서비스(http://www.e-gen.or.kr/egen/search_aed.do)를 제공하고 있다.

공공장소에 설치된 AED의 수가 급증하였음에도 불구하고 실제로 일반인에 의한 AED의 사용은 매우 저조한 것으로 보고되고 있다. 일반인에 의한 AED 사용 건수는 2011년 5건, 2012년 12건, 2013년 19건, 2014년 30건, 2015년 25건 등이다. 이는 이 기간 전체 발생한 심정지 건수의 0.07%에 해당하는 수치이다(아시아경제, 2016년 10월 12일). AED에 대한 설치, 관리 및 접근에 대한 문제는 최근에도 제기되고 있다(jtc 뉴스, 2019년 2월 12일). 해외의 경우 우리나라보다 사정이 나은 편이지만 여전히 낮은 AED의 활용도가 문제로 지적되고 있고(Weisfeldt *et al.*, 2010), 실제로 발생하고 있는 심정지 환자를 효과적으로 커버하고 있지 않다(Moon *et al.*, 2015). 심정지 환자가 발생하였을 때 일반인이 AED를 효과적으로 활용하기 위해서는 먼저 심정지 환자 발생 지점으로부터 가까이에 AED가 있어야 하고, 일반인이 AED의 위치를 알고 있어야 하며, 일반인이 AED를 기꺼이 사용할 수 있어야 한다(Chan *et al.*, 2013). 첫 번째 조건은 AED의 설치 전략을 통하여, 두 번째는 AED의 위치 서비스를 통하여, 그리고 마지막 조건은 AED 활용 교육을 통하여 충족시킬 수 있다. 공공장소에 설치된 AED의 활용도를 높이기 위해서는 일차적으로 AED의 접근성을 향상시키

는 것이 중요하다. 따라서 법이 정한 설치 의무에 따라 AED의 수를 늘리는 것도 중요하지만 이때 전략적 접근이 요구된다. 즉 심정지 환자 발생의 수요에 맞추어 AED를 설치할 필요가 있고, 이미 설치된 AED가 실제 발생하는 심정지 환자를 효과적으로 서비스할 수 있는지를 평가하여 기존에 설치된 AED의 위치를 조정할 필요가 있다. 이러한 필요성에도 불구하고 이와 관련된 연구가 거의 이루어지지 않았다.

이러한 배경 하에서 본 연구의 목적은 응급의료에 관한 법률에 따라 의무적으로 설치된 AED의 서비스 적절성을 평가하는 것이다. 공공장소에 설치되고 있는 AED의 수가 급격히 증가하고 있고 이에 설치와 관리를 위한 비용이 늘어날 수밖에 없는 반면, 사용률은 매우 낮은 것이 현실이다. 이러한 상황에서 공공장소에서 심정지 환자 발생 시 정해진 시간 내에 AED를 이용할 수 있는지를 평가할 필요가 있다. 이를 위하여 강남구를 사례로 심정지 환자의 성별, 연령그룹별 특성을 바탕으로 센서스 데이터와 이동통신 빅데이터를 기반으로 추정된 유동인구를 이용하여 수요 지점별 심정지 발생 가능 인구를 산출하고 설치된 AED의 서비스 커버리지를 평가한다. 나아가 공간 최적화 모형을 이용하여 서비스의 적절성을 높일 수 있는 대안을 모색하고자 한다.

II. 선행연구 검토

국내에서 이루어진 심정지 및 AED 관련 연구는 주로 의료 분야에서 이루어졌고, 특정 병원 혹은 지역에 보고된 심정지 환자에 대하여 심폐소생술을 시행하거나 AED를 사용하였을 경우 환자의 생존률이 어떻게 달라지는지 혹은 심정지 환자의 생존률에 영향을 미치는 요인이 무엇인지를 실증하는 연구가 주였다(이명갑 등, 2002; 김성은 등, 2005; 이현희 등, 2008; 최근명·이세훈, 2011; 박일수 등, 2014; 신소연·노상균, 2014; 조병준·김선예, 2014). 이들은 공통으로 심폐소생술이 시행된 경우, 병원 전 제세동이 시행된 경우, 현장 도착 소요시간이 짧을수록 생존률이 높았다는 실증적 근거를 제시하고 있다. 한편 몇몇 연구들은 특정 지역을 중심으로 AED의 설치현황, 관리 실태를 살펴보기도 하였다(정준호, 2017; 서혜진 등, 2018). 한편 AED는 법률이 정한 바에 따라 의무적으로 설치해야 하지만 활용도를 높이기 위해서는

수요의 공간적 분포를 파악하여 배치하는 것이 바람직하다. 그럼에도 불구하고 기존에 설치된 AED가 심정지 환자를 어느 정도 커버하는지, 수요 기반으로 새롭게 설치가 필요한 곳이 어디인지 등 공간적 관점에서 이루어진 연구는 거의 없다. 예외적으로 권필 등(2016)은 서울시 관악구를 대상으로 설치된 AED가 실제 발생한 심정지 환자를 어느 정도 커버하는지, 심정지 발생 가능성이 높은 인구를 커버하기 위하여 어디에 AED를 설치해야 하는지 등을 최적화 접근을 통하여 살펴보았다. 연구 결과 최적화 접근을 통하여 AED를 설치할 경우 그렇지 않은 경우보다 심정지 발생 위험이 높은 인구에 대한 서비스 가능성이 높은 것으로 나타났다.

해외의 경우 심정지 환자 발생의 공간적 분포 특성을 파악하는 것부터 심정지 환자 및 AED 설치 장소의 시공간적 특성을 고려한 최적화 접근, 무인항공기를 이용한 AED의 배포를 위한 최적화 접근까지 공간적 관점에서 다양한 연구들이 이루어졌다. 먼저 심정지 환자의 분포 특성을 분석한 연구들을 살펴보자. Malcom III *et al.*(2004)은 미국 조지아 주의 카운티를 대상으로 인구밀도와 OHCA 발생 사이의 관계를 평가하였다. 그 결과 인구밀도가 증가할수록 OHCA 발생 비율이 감소하는 경향을 보였지만, 인구밀도가 증가하면서 집 밖에서 심정지 환자가 발생할 가능성은 더 커졌다. 이러한 결과는 인구밀도가 높은 대도시의 경우 공공접근이 가능한 AED 설치 전략으로부터 혜택을 받을 수 있음을 의미한다. Ong *et al.*(2008)은 싱가포르를 대상으로 GIS를 이용하여 OHCA의 시공간적 군집을 추출하고자 하였다. Moon *et al.*(2015)은 미국 애리조나 주 피닉스시 대도시권을 대상으로 OHCA와 AED의 위치를 비교하였다. 2010년부터 2012년까지 공공장소에서 발생한 OHCA를 공간 데이터로 만든 다음 커널 밀도함수를 이용하여 밀도면을 산출한 후 AED의 위치와 비교하였다. 이를 통하여 높은 OHCA 발생에도 불구하고 AED가 부족한 지역을 식별할 수 있었다. 한편 Hansen *et al.*(2014)은 AED의 설치가 증가함에도 불구하고 AED의 증가와 OHCA의 커버리지 증가 사이의 관계가 불명확한 이유가 무엇인지 의문을 가지고 AED의 증가와 OHCA 커버리지 사이의 관계를 시계열적으로 탐색하였다. 덴마크 코펜하겐을 사례로 연구한 결과, 발생 가능성이 큰 지역에서 커버리지 증가율이 두드러지지만, 여전히 대다수 AED는 위험도가 낮은 혹은 심정지 환자가 발생하는 않는 곳에 설치되었음을 확인하

였다. 이러한 커버리지 평가는 AED 접근성을 향상하기 위한 출발점이 된다.

몇몇 연구들은 OHCA의 분포 특성을 바탕으로 AED의 설치 장소를 제안하기도 하였다. Becker *et al.*(1998)은 미국 워싱턴주 시애틀시와 킹카운티를 대상으로 1990년부터 1994년까지 공공장소에서 발생한 OHCA의 분포 특성을 토대로 해당 장소에서의 연간 심정지 환자 발생률을 추정하였고, 이를 바탕으로 AED를 설치하고자 하였다. Folke *et al.*(2009)은 일반적으로 AED의 커버리지가 100m인 점을 감안하여 연구지역을 100m 격자로 구분한 후 해당 지역 별로 OHCA 발생 건수를 평가하여 발생 빈도가 높은 지역을 커버하는 AED의 수는 얼마이고, 발생 빈도가 높은 지역을 커버하기 위하여 몇 개의 AED가 추가로 필요한지를 평가하였다. 이 두 연구는 GIS의 공간 분석 기능에 기초하여 AED의 설치 가능 장소를 찾고 있다.

최근 들어 공간 최적화 접근을 이용하여 AED의 입지 적합성을 평가하고 신규 입지를 결정하는 시도들이 이루어지고 있다. Siddiq *et al.*(2013)은 캐나다 토론토를 대상으로 AED의 유효 거리(effective range)와 공공장소에서 발생하는 OHCA 커버리지 사이의 관련성을 정량화하고자 하였다. MCLP 모형을 이용하여 AED의 커버리지 범위를 변경하였을 경우 OHCA 포괄 변화를 분석하였다. Chan *et al.*(2013)은 2005년부터 2010년까지 토론토에서 발생한 OHCA 데이터를 바탕으로 MCLP 모형을 이용하여 신규 AED의 입지를 결정하고자 하였다.

한편 OHCA는 낮 시간뿐만 아니라 밤 시간에도 발생하고 AED의 이용 또한 시설의 운영 시간에 영향을 받기 때문에 AED의 서비스 적절성 평가뿐만 아니라 입지 설정에서 시간적 차원을 고려할 필요성이 제기되고 있다. Hansen *et al.*(2013)은 덴마크 코펜하겐을 사례로 공공장소에 설치된 AED의 접근성 및 OHCA 커버리지를 시간적 차원에서 평가하고자 하였다. 공공장소에 AED의 설치 대수가 늘었음에도 건물 자체의 접근성 제한 때문에 야간이나 주말에 발생하는 OHCA의 커버리지가 낮 시간과 비교하여 절반 이하로 나타났다. Tsai *et al.*(2012)과 Huang and Wen(2014)은 24시간 이용이 가능한 편의점을 AED 설치 후보지로 간주하고 MCLP 형태의 최적화 모형을 적용하여 AED를 설치할 곳을 결정하고자 하였다. 그 결과 편의점에 AED를 설치할 경우 상업지역에서는 야간 시간대에 발생하는 OHCA에 대한 시간적 격차를 보완하는 것이 가능하고, 주거지역에서는 장거리 이

동을 보완할 수 있다는 결론을 얻었다. Sun *et al.*(2016) 또한 AED의 입지 결정을 위하여 시공간적 접근성을 고려한 최적화 접근을 시도하였다. 토론토를 사례로 2006년부터 2014년까지 공공장소에서 발생한 OHCA 데이터를 바탕으로 발생 시간과 AED가 설치된 건물의 운영 시간을 고려한 결과, 공간적 접근성만을 고려할 경우보다 시간을 함께 고려할 경우 OHCA 커버리지가 향상되었다.

공간 최적화 접근을 취한 선행연구들을 종합하면 공간상에 분포하는 수요에 맞게 AED를 배치할 필요성을 역설하고 있다. 우리나라의 경우 다중시설과 같이 수요가 많은 시설에 AED를 설치할 것을 법적으로 규정하고 있고 이에 따라 많은 AED가 보급되었지만 이러한 AED가 실제로 발생하는 OHCA를 어느 정도 커버할 수 있는지는 제대로 평가되지 않은 것이 현실이다. 이에 본 연구는 공간 최적화 모형을 이용하여 기존에 설치된 AED의 커버리지를 평가하고자 한다.

III. 수요와 공급의 공간적 분포 재현

1. 단위 지역의 OHCA 발생 가능 인구 추정

AED의 서비스 적절성 평가를 위한 출발점은 수요의 공간적 분포를 재현하는 것이다. 기존 연구들에서는 특정 기간 발생한 심정지 환자의 위치 정보를 수요로 간주하여 평가해 왔다. 그러나 특정 시점 및 공간에서 심정지 환자의 발생 빈도가 매우 낮아 포아송 분포를 따르는 경향이 있어(Skogvoll and Lindqvist, 1999; Warden *et al.*, 2012), 특정 시점 관찰 데이터만으로 기저의 수요 분포와 앞으로의 발생 가능성을 예측하는 것은 한계가 있다. 예를 들어 A 지점에서 심정지 환자가 발생하였고 하여 해당 지점 혹은 그 주변에서 심정지 환자가 또 발생하리라는 것을 기대하기 어렵다. 거주지 이외에서 발생하는 심정지 환자의 경우 특정 시점에 해당 지역을 이용하는 인구특성에 따라 심정지 발생 가능성이 달라질 수 있다. 심정지 발생의 위치 정보를 이용할 수 없는 경우 인구통계를 이용하여 심정지 발생 가능 인구를 추정해 볼 수 있다. 심정지 환자의 생존률을 다룬 연구들의 경우 환자의 인구학적 특성을 보고하고 있고(Larsen *et al.*, 1993; Valenzuela *et al.*, 1997; Capucci *et al.*, 2002; Myerburg *et al.*, 2002; Estes III, 2011), 우리나라

질병관리본부에서 발표하는 『급성심장정지조사 통계』에서도 성별, 연령그룹별 심정지 환자 발생 빈도를 보고하고 있다. 따라서 인구통계정보와 심정지 환자의 인구학적 특성을 결합하여 해당 지역의 심정지 발생 가능 인구를 추정하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 통계청의 인구주택총조사에서 제공하는 센서스인구(상주인구, *de jure* population)와 이동통신 빅데이터를 이용하여 추정한 현재인구(*de facto* population)를 이용하여 단위 지역의 심정지 환자 발생 가능 인구를 추정한다. 특히 이동통신 빅데이터를 이용하여 추정한 현재인구는 해당 지역에 분포하는 실제 인구특성을 보여줄 수 있어 유용한 원천이 될 수 있다(김감영·이건학, 2016; 이진학·김감영, 2016; 김감영·목정호, 2017).

표 1은 2016년에 발생한 급성심정지 환자의 성별 및 연령그룹별 발생 빈도와 발생률을 보여주고 있다. 2016년 자료를 이용한 이유는 추정을 위하여 사용할 인구통계 자료와 시점을 맞추기 위함이다. 참고로 성별 및 연령그룹별 발생률은 연도별로 큰 차이를 보이지 않는다. 발생 빈도에서 남성이 여성보다 많고 인구 10만 명당 발생률 또한 남성이 74.9명으로 여성(41.8명)보다 높다. 남성의 발생률은 연령그룹에 비추보면 50대 후반에서 60대 초반에 상응하는 수치이다. 연령그룹별로 보면 10대가 6.1명으로 가장 낮고 나이가 많아지면서 발생률이 급격하게 커져 70대에서는 219.3명, 80세 이상에서는 무려

548.9명을 기록하였다. 이 표를 통하여 급성심정지 환자의 발생은 성과 나이의 함수관계에 있음을 알 수 있다.

인구통계와 급성심정지 환자 발생 특성을 바탕으로 다음과 같은 식을 이용하여 공간 단위의 심정지 발생 가능 인구를 추정할 수 있다.

$$OC_i = R_m \sum_{j=1}^k BR_j \times PM_j + R_f \sum_{j=1}^k BR_j \times PF_j \quad (1)$$

이 식에서 OC_i 는 공간 단위에서 추정된 심정지 발생 가능 인구를, R_m 는 연령그룹 인덱스($j = 1, \dots, k$), BR_j 는 연령그룹 j 의 심정지 발생률을, PM_j 는 연령그룹 j 의 남성 인구를, PF_j 는 연령그룹 j 의 여성 인구를, R_m 과 R_f 는 각각 관측된 심정지 환자에서 남성과 여성의 비율을 나타낸다. 급성심정지 환자 발생 통계는 표 1에서 보는 것처럼 10세 간격으로 제공되고 있고, 사용한 유동인구 또한 10세 간격으로 구분되어 있으며 60세 이상을 묶어 제공하기 때문에 비교를 위하여 성별 연령그룹을 10대, 20대, 30대, 40대, 50대, 60대 이상으로 나누었다. 재계산된 60세 이상 연령그룹의 급성심정지 환자 발생률은 193.6명이다.

이 식을 강남구에 적용하여 공간 단위별 심정지 발생 가능 인구를 추정하였다. 강남구를 선정한 이유는 서울의 기능중심지의 하나로(Kim *et al.*, 2015), 상주인구와

표 1. 성별 및 연령그룹별 급성심정지 환자 발생 빈도 및 발생률(2016년)

구분	성별/연령별	발생 건수(건)	발생률(인구 10만 명당)
전체	소계	29,832	58.4
성별	남자	19,122	74.9
	여자	10,692	41.8
	미상	18	-
나이	0~9세	418	9.1
	10~19세	338	6.1
	20~29세	738	11.0
	30~39세	1,287	17.1
	40~49세	2,613	30.0
	50~59세	4,797	58.2
	60~69세	4,862	94.4
	70~79세	6,960	219.3
	80세 이상	7,803	548.9
	나이 미상	16	-

자료 : 질병관리청, 『급성심장정지조사』.

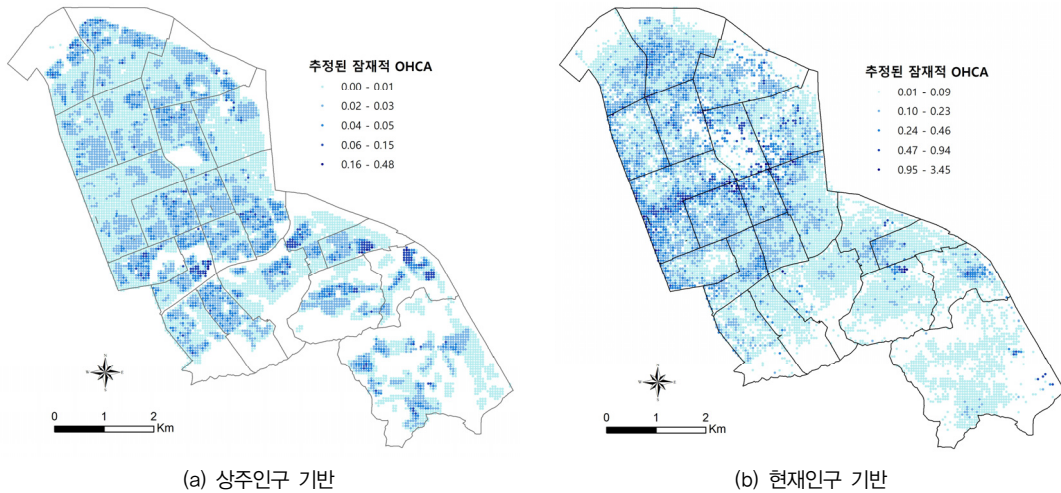


그림 1. 추정된 심정지 발생 가능 인구의 공간적 분포

현재인구의 분포 차이가 커 공간상에서의 수요 변동의 역동성을 잘 보여주는 곳이기 때문이다. 상주인구로 2015년 인구주택총조사 집계구 인구를, 현재인구로 한 통신사가 이동통신 빅데이터를 바탕으로 추정하여 제공하는 유동인구를 사용하였다. 유동인구의 시점은 2016년 5월 평균 데이터로 50m 격자 단위로 평가된 자료이다. 50m 해상도를 선정한 이유는 AED의 커버리지 범위 때문이다. AED의 입지와 관련한 많은 연구에서 설정한 AED의 서비스 반경은 100m이다(Folke *et al.*, 2009; Tsai *et al.*, 2012; Chan *et al.*, 2013; Huang and Wen, 2014; Sun *et al.*, 2016). 100m는 일반인이 3분 이내에 걸거나 뛰어서 AED를 가져올 수 있는 거리이다. 이를 고려할 때 재현되는 수요 재현의 공간 해상도는 100m보다 작아야 한다. 유동인구의 경우 50m 해상도를 갖기 때문에 그대로 사용하였고, 집계구 단위 센서 데이터는 대시메트릭 매핑(dasymetric mapping) 기법(이상일·김감영, 2007)을 적용하여 50m 격자 공간 단위로 변환하였다. 집계구 데이터로부터 격자 단위 추정값을 산출하는 과정은 다음과 같다. 먼저 집계구의 인구통계 정보를 성별 10세 간격으로 재집계한 후 식 (1)을 적용하여 집계구 단위의 심정지 발생 가능 인구를 추정하였다. 그런 다음 환경부 공간정보서비스에서 제공하는 2000년대 후반의 중분류 토지피복도를 보조 정보로 활용하여 대시메트릭 매핑을 수행하여 50m 공간 단위에 대한 최종값을 얻었다. 집계구 데이터가 상주인구이기 때문에 도시화된 지역에만 인구가 거주한다고 가정하였다. 도시 및 거주지의 중분류 토지

이용 중에서 주거지역에 가장 높은 가중치(0.95)를 부여하였고, 상업지역(0.03)이나 산업지역(0.02)에도 사람이 거주할 가능성이 있어 약간의 가중치를 부여하였다.

그림 1은 상주인구와 현재인구에 식 (1)을 적용하여 추정한 50m 격자 단위 심정지 발생 가능 인구의 공간적 분포를 보여주고 있다. 그림에서 보는 것처럼 상주인구를 기반으로 한 경우 아파트와 같이 주거지역을 중심으로 높은 값이 분포하는 반면, 현재인구 기반의 경우 테헤란로와 같이 유동인구가 많은 도로망을 따라 높은 값이 나타나고 있다. 상주인구를 바탕으로 추정된 심정지 발생 가능 인구의 합은 124명이고, 현재인구를 이용한 경우는 1,168명으로 현재인구를 기반으로 할 때 추정값이 9.4배 높다. 이는 상주인구와 현재인구의 규모 차이에 따른 것이다. 2016년 5월 강남구의 주민등록인구는 572,375명인데 반하여 통신기록을 바탕으로 추정된 현재인구는 4,970,818명으로 상주인구보다 8.6배 많다. 2014년 관악구에 기록된 심정지 환자 발생 건수는 400건이었으며(권필 등, 2016), 2015년 인구주택총조사에서 강남구의 주간인구는 관악구보다 2.57배 많았다. 이러한 인구 유동성의 차이를 고려할 때, 현재인구를 바탕으로 추정된 1,168명이라는 수치는 개연성이 있지만, 2016년 서울에서 발생한 급성심정지 환자 수가 4,569명인 것을 고려하면 과대 추정되고 있다고 볼 수 있다. 종합하면 상주인구를 바탕으로 하면 실제보다 과소추정되는 경향이, 현재인구를 이용할 경우 과대 추정되는 경향이 있다. 과대 추정에도 불구하고 이동통신 데이터 기반 현재인구는

수요의 실제 분포를 잘 반영하기 때문에(김감영·이건학, 2016), AED의 서비스 적정성 평가와 입지 설정에 유용하다. 이러한 과정을 통하여 수요를 재현한 결과 상주 인구 기반 수요 지점의 수는 10,413개, 현재인구 기반 수요 지점의 수는 10,588개이다.

2. AED 설치 후보지 재현

AED 설치현황은 응급의료포털 E-Gen을 통하여 지도 기반으로 검색할 수 있다. 2019년 2월 19일 기준으로 강남구에는 총 522개의 AED가 설치되어 있다. 그중 64개가 SRT 객차 내에 설치되어 있어, 이를 제외한 458개를 주소 정보를 바탕으로 지오코딩을 수행하여 공간 데이터로 전환하였다. 그런데, 주소 단위로 지오코딩된 결과를 그대로 사용할 경우 서비스 적정성 평가가 부정확해질 수 있다. 그 이유는 AED의 서비스 반경이 매우 좁기 때문이다. 예를 들어, 주소 기반으로 지오코딩을 할 경우 필지의 중심점 혹은 건물의 주출입구에 포인트가 위치하는데(박진우 등, 2016; 최진무, 2019), 대규모 아파트 단지와 같이 규모가 큰 필지의 경우 AED가 관리실에 있는지, 특정 동에 있는지에 따라 특정 수요 지점이 AED의 서비스 반경 내에 있는지가 달라진다. 위치 부정확성은 커버리지 평가에 큰 영향을 줄 수 있다. 따라서 AED

의 위치를 보다 실제에 가깝도록 보정하는 과정이 필요하다. 다행히도 E-Gen에서 제공하는 정보에는 주소뿐만 아니라 주소 내 구체적인 위치 정보(예를 들어, 아파트 단지 내의 동 정보)를 포함하고 있어, 국가공간정보포털에서 제공하는 GIS건물정보와 중첩하여 지오코딩된 위치를 개별적으로 보정하여 사용하였다.

실제 AED 위치 이외에 대안을 평가하기 위하여 AED의 설치가 가능한 후보지를 설정해야 한다. 응급의료법 제47조의2에서 의무로 규정하는 곳은 의료 행위를 수행하는 의료기관, 항공기/철도/선박 등 교통시설, 규모가 큰 공동주택, 다중이용시설 등이다. 즉 일상생활 속에서 일반인들이 손쉽게 접근 및 이용할 수 있는 거주자가 많은 공동주택이나 이용자가 많은 다중이용시설에 AED를 설치하도록 한 것이다. 이러한 사실에 기반하여 GIS건물정보를 바탕으로 개별 건물 수준에서 AED 입지 후보지를 선정하였다. 연면적이 5,000㎡ 이상인 건물과 교육기관, 문화시설, 의료시설, 종교시설, 쇼핑몰 등 공공시설 혹은 많은 사람이 이용할 것으로 판단되는 건물, 지하철역을 후보지에 포함시켰다. 이러한 과정을 통하여 2,387개의 새로운 입지 후보지가 선정되었고, 기존 458개 AED의 위치를 합쳐 총 2,845개의 최종 입지 후보지를 모델링에 사용하였다(그림 2).



그림 2. 기존 설치된 AED 및 추가된 입지 후보지

IV. AED의 커버리지 모형

AED 설치 및 커버리지 평가를 위하여 기존 연구에서 공통으로 사용된 모형은 MCLP(maximal covering location problem)이다(Tsai *et al.*, 2012; Chan *et al.*, 2013; Siddiq *et al.*, 2013; Huang and Wen, 2014; Sun *et al.*, 2016). MCLP는 커버리지 평가를 위한 공간적 기준을 바탕으로 하고 있으며 시설이 커버하는 수요의 양을 극대화할 수 있도록 정해진 수의 시설의 입지를 결정한다. 커버리지 표준을 갖는 LSCP(location set covering problem, Toregas *et al.*, 1971)를 이용할 수 있지만, 이 모형은 모든 수요를 커버할 수 있는 최소의 시설 입지를 결정해야 한다. MCLP에서 입지할 시설의 수를 계속 증가시키면 LSCP의 결과와 같아진다. 그런데 시설의 수 증가로 인한 커버리지 증가율은 체감한다. 따라서 LSCP를 이용하는 것은 비용 측면에서 비효율적이다. 본 연구에서도 선행연구들과 같이 MCLP를 이용하여 기존 AED의 커버리지를 평가하고 대안적 입지를 찾고자 한다. MCLP는 다음과 같은 기호와 결정변수를 이용하여 정의할 수 있다(Church and ReVelle, 1974).

- i = 수요 지점 인덱스, $i \in I$,
- j = 시설물 입지 후보지 인덱스, $j \in J$,
- a_i = 지점 i 에서의 수요량,
- p = 설치할 시설물의 수,
- S = 최대 서비스 거리,
- d_{ij} = 수요 지점 i 로부터 후보지 j 까지의 거리,
- $N_i = \{j | d_{ij} \leq S\}$, 수요 지점 i 로부터 서비스 거리 안에 있는 후보지의 집합,
- $x_j = \begin{cases} 1, & \text{시설물이 후보지 } j \text{에 입지하면} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$,
- $y_i = \begin{cases} 1, & \text{수요지점 } i \text{가 적어도 하나의 시설물에} \\ & \text{의해 서비스되면} \\ 0, & \text{그렇지 않다면} \end{cases}$.

Maximal Covering Location Problem:

$$\text{Maximize } \sum_{i=1} a_i y_i \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j x_j = p \quad (3)$$

$$x_j = \{0, 1\} \quad \forall j \quad (4)$$

$$y_i = \{0, 1\} \quad \forall i \quad (5)$$

목적함수 (1)은 제한된 수의 시설물에 의해서 서비스 되는 수요의 합을 최대화한다. 제약조건 (2)는 수요 i 에 제공되는 커버리지는 집합 N_i 에 포함된 후보지의 값에 따라 달라진다. N_i 에 속한 후보지 중 적어도 한 곳에 시설물이 입지하면 수요 i 는 커버될 수 있다. 제약조건 (3)은 입지할 시설물의 수가 p 개라는 것을 명시하며, 제약조건 (4)와 (5)는 결정변수 x_j 와 y_i 가 0 또는 1의 값을 갖는 이진 정수라는 것을 의미한다.

강남구를 대상으로 재현된 수요와 시설 데이터에 대한 MCLP 해를 찾기 위하여 최적화 프로그램인 ILOG CPLEX Optimization Studio (version 12.5.1)를 이용하였다. 문제를 풀기 위하여 다음과 같은 사양을 지닌 컴퓨터를 이용하였다: Windows 10 Education (64-bit OS); Intel(R) Core (TM) i5-3570 CPU @ 3.40 GHz; 4.00 GB RAM.

V. 커버리지 평가 및 대안적 입지

AED의 서비스 반경을 100m로 설정할 경우 기존 458개의 AED는 상주인구 기반 추정치의 약 35.85%인 44.30을 커버하였고, 현재인구 기반 추정치의 35.02%인 409.09를 커버하였다(표 2). 상주인구에 대한 커버리지 비율이 현재인구보다 높은 것은 인구 밀집 거주지인 아파트 단지에 다수의 AED가 설치되었기 때문이다(그림 3(a)). 이와는 달리 테헤란로와 같이 인구의 이동성이 높은 곳에 설치된 AED가 많지 않아(그림 3(b)) 결과적으로 현재인구 기반 추정치에 대한 커버리지는 상대적으로 낮게 나타났다. 커버리지 비율에서 약간의 차이에도 불구하고 35%라는 비율을 통하여 수요 재현 방식에 상관없이 기존에 설치된 AED의 서비스 효율은 매우 낮음을 알 수 있다. 이는 AED 설치를 위한 보다 전략적인 접근의 필요성을 보여준다. 기존에 설치된 AED가 있는 상황에서 공간 최적화 접근을 통하여 수요에 대한 AED의 커버리지를 향상하는 방법으로 두 가지를 생각해볼 수 있다. 하나는 기존에 설치된 AED의 위치를 존중하고 서비스가 되지 않는 곳에 AED를 추가로 도입하는 것이고, 다른 하나는 서비스 효율성을 극대화할 수 있도록 기존의 AED를 재배치하는 것이다. 이 두 가지 접근에 따라 추정된 수요에 대한 AED의 커버리지가 어떻게 바뀌는지 살펴본다.

표 2는 기존에 설치된 458개 AED의 커버리지 범위 밖에 있는 수요를 대상으로 50개 단위로 AED를 추가함에

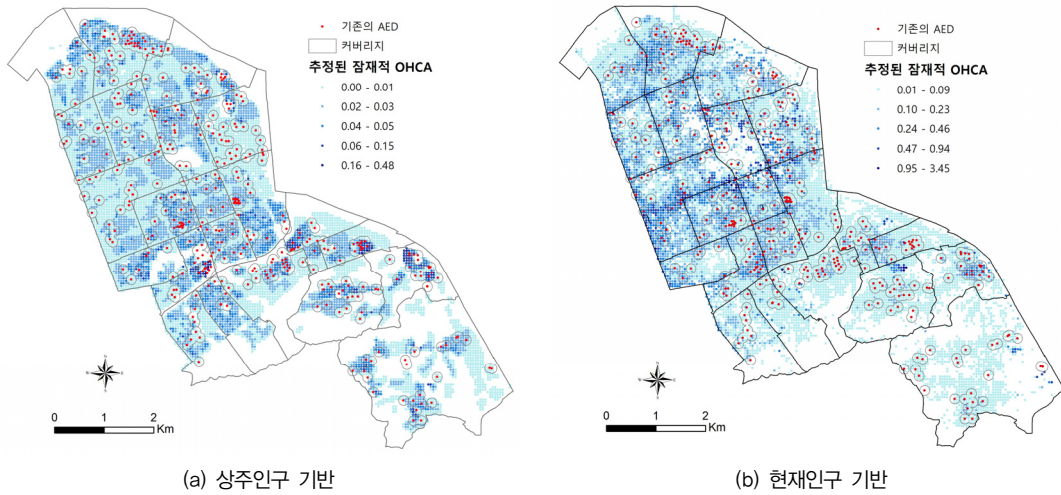


그림 3. 기존 AED의 커버리지

표 2. 커버리지 비율 변화: 기존 AED를 유지한 채 새로운 AED를 추가한 경우

AED 수	상주인구 기반 추정치			현재인구 기반 추정치		
	커버된 수요량(명)	비율(%)	한계 증가율(% p)	커버된 수요량(명)	비율(%)	한계 증가율(% p)
기존 458	44.30	35.85	-	409.09	35.02	-
+ 50	17.41	49.93	14.09	177.92	50.26	15.23
+ 100	28.66	59.04	9.10	276.95	58.74	8.48
+ 150	36.91	65.72	6.68	350.99	65.07	6.34
+ 200	43.16	70.77	5.06	409.13	70.05	4.98
+ 250	47.60	74.37	3.59	456.08	74.07	4.02
+ 300	50.70	76.87	2.50	493.39	77.27	3.19
+ 350	52.91	78.66	1.79	522.48	79.76	2.49
+ 400	54.48	79.94	1.27	545.23	81.70	1.95
+ 450	55.57	80.82	0.88	562.58	83.19	1.49
+ 500	56.24	81.36	0.54	576.27	84.36	1.17
+ 550	56.61	81.66	0.30	586.99	85.28	0.92
+ 600	56.77	81.78	0.12	594.79	85.95	0.67
총수요	123.58			1,168.01		

따라 커버되는 수요량, 커버리지 비율, 커버리지 비율의 한계 증가율 등을 정리하여 보여주고 있다. 참고로 해를 찾는데 소요된 시간은 모든 사례에서 5초 이내이다. 수요의 공간적 분포를 토대로 최적화 접근을 통하여 AED를 50개 추가할 경우 상주인구 기반 심정지 발생 가능 인구 추정치의 커버리지 비율은 14.09% p가 향상되었고, 현재인구 기반 추정치에서도 15.23% p가 개선되었다. 이는 AED의 수를 약 11% 늘려 커버리지 비율을 약 43% 향상

시킨 것이다. 200개의 AED를 추가할 경우 상주인구 및 현재인구 기반 추정치 모두에서 기존 커버리지 비율의 약 2배에 해당하는 70% 정도의 결과를 얻었다. 이러한 결과는 공간 최적화 접근을 통한 AED의 설치가 AED 이용의 접근성을 크게 향상시키는데 기여할 수 있다는 것을 보여준다. 한편 표 2를 통하여 AED의 개수가 추가되면서 커버리지 비율의 한계 증가량은 체감하는 것을 알 수 있다. 예를 들어 상주인구 기반 추정치에서 처음 50개

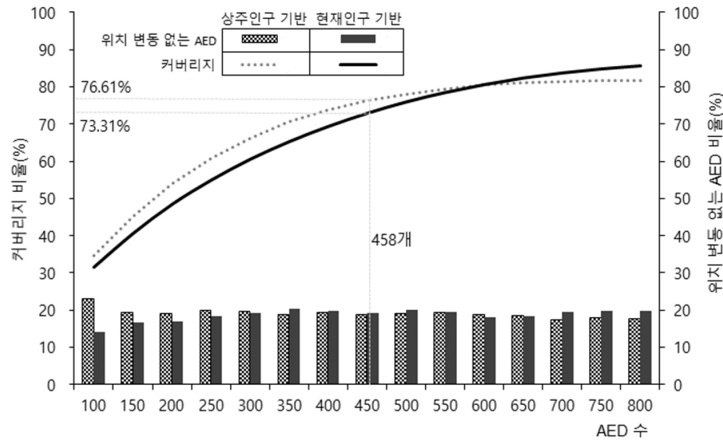


그림 4. 재배치되는 AED의 수에 따른 커버리지 비율 변화 추이

를 추가할 경우 한계 증가율이 14.09% p였지만, 추가된 AED의 수가 450개에서 500개로 50개 늘어날 때 한계 증가율은 0.54% p에 불과하였다. 새로 추가되는 AED가 점차 수요가 적은 지점을 커버하게 되고 이에 한계 증가율은 낮아지게 된다. 이러한 정보는 얼마까지 AED의 수를 늘려야 하는지를 결정하는 데 도움을 준다. 마지막으로 AED의 잠재적 후보지 모두에 설치한다고 가정하더라도 커버리지 비율이 상주인구 기반 추정치는 81.84%, 현재인구 기반 추정치는 86.76%에 불과하였다. 이는 AED의 잠재적 설치 후보지가 대상 지역의 수요를 모두 커버할 수 있을 만큼 충분하게 설정되지 않았기 때문이다.

다음으로 기존에 설치된 AED의 존재를 무시하고 MCLP를 통하여 모든 AED의 위치를 결정할 경우 커버리지 효율성이 어떻게 향상되는지 살펴보자. 이때 AED의 입지 후보지는 기존 AED가 설치된 위치와 새롭게 추가된 잠재적 위치를 모두 포함한 것이다. 그림 4는 100개에서부터 50개 단위로 AED의 수를 늘려 얻은 목적함수 값(입지한 AED에 의해서 커버되는 수요량)을 전체에 대한 비율로 변환하여 그래프를 작성한 것이다(꺾은 선 그래프). 아울러 선택된 AED 입지 중에서 기존의 458개 AED의 위치와 동일한 것의 비율을 산출하여 그래프에 추가하였다(막대 그래프). 해당 지역에 100개의 AED를 전면 재배치할 경우 상주인구 기반 추정치의 약 35.05%, 현재인구 기반 추정치의 31.41%를 커버한다. 이 수치는 표 2에 제시된 기존 458개 AED의 커버리지 비율과 비슷한 수치이다. 이 수치는 AED가 의무가 아닌 수요의 공간적 분포에 기반하여 보다 전략적으로 설치될 필요성

을 다시 한번 보여준다. MCLP를 통하여 선정된 100개의 AED 위치 중 기존 458개에 속하는 것은 상주인구 기반 추정치의 경우 23개, 현재인구 기반 추정치의 경우에 불과하다. 100개 중 나머지는 잠재적 후보지에서 선택되었다. 기존과 같이 458개를 전면 재배치할 때 커버리지 비율은 상주인구 기반 추정치는 76.61%까지, 현재인구 기반 추정치는 73.31%까지 상승한다. 이는 기존 458개 AED의 커버리지 비율보다 2배 이상 높은 수치이다. 새롭게 선정된 458개 AED 위치 중에서 기존 위치와 동일한 것은 상주인구 기반 추정치에서 88개(19.21%), 현재인구 기반 추정치에서 85개(18.56%)로 나타났다. 그림 4에서 보듯이 설치되는 AED의 수에 상관없이 기존에 설치된 AED가 선택되는 비율은 20% 내외이다. 이러한 사실들은 기존 설치된 AED가 공간상에서 발생하는 수요에 적절하게 기능하기 어려움을, 그리고 실제 수요에 기반한 공간 최적화와 같은 전략적 접근의 필요성을 함께 보여준다.

그림 5는 재배치된 AED의 위치와 커버리지의 공간적 분포를 보여주고 있다. 상주인구 및 현재인구 기반 추정치 모두 추정값이 높은 곳을 커버할 수 있도록 AED가 입지하였음을 알 수 있다. 상주인구 기반 추정치의 경우(그림 5(a)) 아파트가 집중적으로 분포하는 거주지를 중심으로 높은 수요가 나타나며 이를 커버할 수 있도록 AED의 위치가 결정되었다. 그림에서 붉은색 원으로 표시된 곳과 같이 추정된 수요 값이 큼에도 불구하고 이를 커버하는 AED가 선정되지 않았는데, 이는 그림 5와 비교해보면 이 지역을 커버할 수 있는 후보지가 선정되지 않

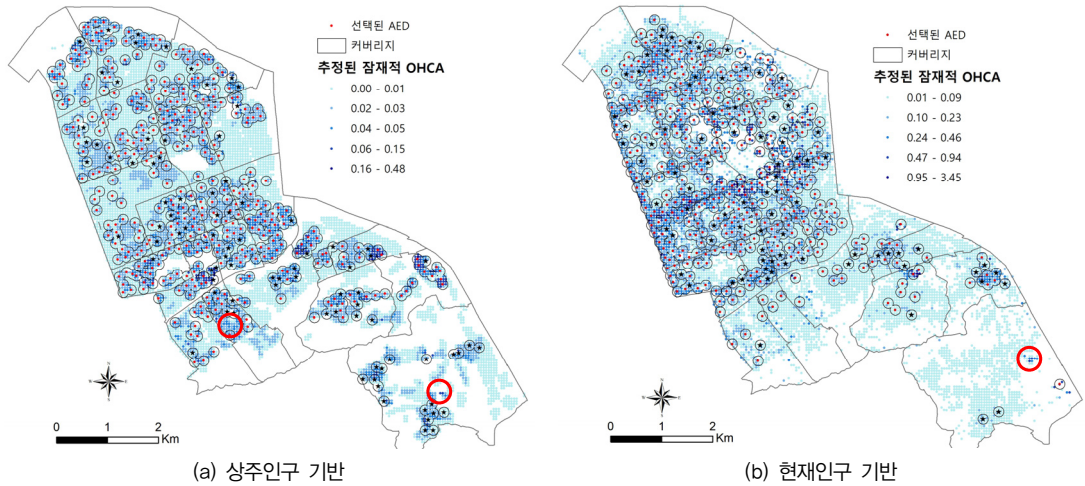


그림 5. 재배치된 458개의 AED 위치와 커버리지

* ★: 기존 AED 중 최종 후보지로 선택된 것.

왔기 때문이다. 현재인구 기반 추정치의 경우(그림 5(b)) 주요 도로망(행정동 경계)을 따라 분포하는 높은 수요를 커버할 수 있도록 AED가 집중적으로 배치되었음을 알 수 있다. 이 경우도 역시 추정된 수요가 크에도 불구하고 AED가 설치되지 않았는데, 이 또한 잠재적 후보지가 선정되지 않았기 때문이다.

VI. 요약 및 결론

우리 사회에서 고령화 현상이 심화되면서 퇴행성 질환 중 하나인 심장질환으로 사망하는 사람들의 비율이 늘어나고 있고 급성심정지 환자 수도 증가하는 추세이다. 심정지가 발생한 후 심폐소생술이나 제세동과 같은 의료처리를 빨리할수록 환자의 생존율은 높아진다. 이에 많은 나라에서 공공장소에 자동심장충격기(AED)를 설치하여 접근성을 높이고자 하고 있다. 우리나라 또한 2007년 응급의료법 개정을 통하여 의료시설, 교통시설을 비롯한 다중이용시설, 규모가 큰 공동주택에 AED 설치를 의무화하였고, 이에 따라 공공장소에 설치된 AED의 수가 빠르게 증가하였다. 공공장소에 설치된 AED 수의 증가에도 불구하고 낮은 활용도와 접근성 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 이에 현재 법에 따라 의무적으로 설치되고 있는 AED의 서비스 적절성을 평가하고 공간상에서 발생하는 수요에 효과적으로 대응할 수 있는 AED의 보급

방안을 모색하고자 본 연구를 시작하였다.

공공장소에 설치된 AED의 서비스 적절성을 평가하기 위하여 수요의 공간적 분포를 재현하는 것이 중요한데 병원 밖에서 발생한 심정지 환자의 위치 정보를 이용할 수 없어 인구 데이터를 이용하여 추정하는 방법론을 제시하였다. 공간 단위별 심정지 발생 가능 인구 추정식은 지역의 성별, 연령그룹별 인구 및 심정지 발생률에 기초한다. 이 식을 센서스 기반의 상주인구와 이동통신 빅데이터 기반 현재인구에 적용하여 AED 수요의 공간적 분포를 재현하였다. 재현된 수요를 바탕으로 이미 설치된 458개 AED의 커버리지를 평가한 결과, 총 수요의 35%만을 커버하여 그 효율성이 매우 낮았다. 법률에 따라서 공공장소에 설치된 AED의 수가 늘었지만, 지리적 접근성이 떨어져 일반인이 병원 밖에서 발생하는 심정지 환자에게 AED를 사용할 가능성이 떨어지는 것이 현실이다. AED에 대한 접근성을 향상하는 방안으로 공간 최적화 모형을 이용하여 두 가지 대안을 평가하였다. 하나는 기존 AED의 위치를 유지한 채 AED를 추가하는 시나리오이다. 그 결과 200개의 AED를 전략적으로 설치할 경우 총 수요에 대한 커버리지 비율은 배 가까이 향상되었다. 즉 200개의 AED를 추가 설치하여 기존 458개의 효과를 얻을 수 있었다. 다른 시나리오는 기존 AED의 위치를 무시하고 전면 재배치하는 것이다. 100개의 AED를 재배치할 때 재현된 수요에 따라 조금 차이가 있었지만, 상주인구 기반 추정치의 경우 커버리지 수준이 기존

458개의 수준과 비슷하였다. 기존과 동일한 458개를 재배치할 경우 커버리지 비율은 기존과 비교했을 때 2배 이상 향상되었다. AED를 재배치할 경우 기존 AED 위치 중에서 최종 후보지로 선정된 비율은 20% 내외였다. 이러한 분석 결과는 기존 설치된 AED가 공간상에서 발생하는 수요에 적절하게 기능하기 어렵다는 사실과 수요에 기반한 공간 최적화와 같은 전략적 접근이 필요함을 함께 보여준다.

본 연구는 심정지 환자의 생존률을 높이는 데 크게 이바지하는 자동심장충격기의 공간적 보급에 있어 공간 최적화 접근의 필요성을 실증적으로 보여주었다는 점에서 의의가 있다. AED의 설치 대상을 법률로 특정하는 것을 넘어 실제 수요를 바탕으로 AED를 보급하는 체계를 마련해야 더 많은 생명을 살릴 수 있을 것이다. 수요 기반의 AED 설치에 있어 본 연구가 제시한 인구특성 기반 심정지 발생 가능 인구 추정 방식은 수요를 공간적으로 재현하는데 유용할 것이다. 다만 향후 연구를 통하여 추정의 타당성을 검증하는 과정이 요구된다. 이를 위해서는 상당 기간 관측된 심정지 환자의 위치 정보가 필요하다. 아울러 AED의 커버리지가 100m이기 때문에 건물의 내부 상황(출입구의 위치 등), 도로로 이용가능한 네트워크 도로 등 도시의 미시적 환경을 분석에 반영할 필요가 있다.

註

- 1) <https://www.sca-aware.org/sca-news/aha-releases-2015-heart-and-stroke-statistics>.
- 2) <https://www.england.nhs.uk/statistics/wp-content/uploads/sites/2/2019/02/20190214-Am-balance-Quality-Indicators-Statistical-Note.pdf>.
- 3) Strömsöe *et al.* (2014)
- 4) 시민들이 알기 쉽도록 2017년부터 ‘자동제세동기’를 ‘자동심장충격기’로 명칭을 변경하였다.

참고문헌

권필·이영민·유기운·이원희, 2016, “자동제세동기의 접근성 향상을 위한 배치 적정성 연구” 한국측량학회지, 34(3),

263-271.

김감영·목정호, 2017, “공간 최적화 접근을 이용한 민방위 대 피사설의 커버리지 평가” 한국지도학회지, 17(3), 97-108.

김감영·이건학, 2016, “이동통신 빅데이터를 이용한 현재인구 추정과 개선 방안 연구” 한국도시지리학회지, 19(2), 181-196.

김성은·어은경·전영진·정구영·박혜숙, 2005, “일개 3차 의료기관에 내원한 병원전 심정지 환자의 심폐소생술 결과” 대한응급의학회지, 16(5), 495-504.

박일수·김유미·강성홍, 2014, “병원전 심정지 환자의 단계별 생존요인에 관한 연구” 보건사회연구, 34(2), 484-513.

박진우·최진무·홍성연, 2016, “Comparison between the Road-based and the Parcel-based Address Coordinates for Urban Air Pollution Estimation -A Case Study of Yeongdaeungpo-gu, Seoul, Korea-,” 지적과 국토정보, 46, 169-181.

보건복지부·질병관리본부, 2017, 『2006-2016 급성심장정지 조사 통계』.

서혜진·윤수지·김효식, 2018, “자동심장충격기 설치현황 및 관리 실태 조사” 한국산학기술학회 논문지, 19(7), 245-251.

신소연·노상균, 2014, “병원 전 심정지 환자의 생존율에 영향을 미치는 요인” 한국화재소방학회 학술대회 논문집, 307-308.

아시아경제, 2016년 10월 12일, '심정지' 증가...자동제세동기(AED) 사용 '제자리', <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2016101208150932620>.

이건학·김감영, 2016, “공간통계 기법을 이용한 현주민구 추정 모델링” 한국지도학회지, 16(2), 71-93.

이명갑·김성진·최대해·전덕호·유병대·이동필, 2002, “비외상성 병원전 심정지 환자의 심폐소생술 결과” 대한응급의학회지, 13(4), 428-433.

이미진, 2017, “국내 자동심장충격기 보급 현황과 사용실태” 대한심폐소생협회소식지, 11(1), 5-8.

이상일·김감영, 2007, “GIS 기반대시메트릭 매핑 (dasymetric mapping) 기법을 이용한 서울시 인구밀도 분포의 재현” 한국지도학회지, 7(2), 53-67.

이현희·서강석·정재명·박정배·류현욱·김종근·이경원, 2008, “일개 대도시에서의 119 구급대가 자동제세동기를 사용한 병원 전 심정지 환자들에 대한 연구” 대한응급의학회지, 19(3), 245-252.

- 정준호, 2017, “자동심장충격기 설치현황 및 관리실태와 사 용능력조사-충청남도 내 500 세대 이상 아파트를 중심 으로” 한국응급구조학회논문지, 21(3), 73-84.
- 조병준·김선예, 2014, “심정지 환자의 생존율에 미치는 영향 요인” 한국산학기술학회 논문지, 15(2), 760-766.
- 중앙응급의료센터, 2018, 「2017년도 응급의료통계연보」.
- 최근명·이세훈, 2011, “일부지역 심정지 환자의 병원전 생존 에 영향을 미치는 요인” 한국웰니스학회지, 6(1), 155-169.
- 최진무, 2019, “유적 위치정보 기록을 위한 지오코딩 방안 연구” 국토지리학회지, 53(1), 21-30.
- 통계청, 2018, 「2017년 사망원인통계」.
- jtbc 뉴스, 2019년 2월 12일, '심장충격기' 어디에...골든타임 날리는 '숨바꼭질', http://news.jtbc.joins.com/article/article.aspx?news_id=NB11768668.
- Becker, L., Eisenberg, M., Fahnenbruch, C., and Cobb, L., 1998, Public locations of cardiac arrest: implications for public access defibrillation, *Circulation*, 97(21), 2106-2109.
- Capucci, A., Aschieri, D., Piepoli, M.F., Bardy, G.H., Iconomu, E., and Arvedi, M., 2002, Tripling survival from sudden cardiac arrest via early defibrillation without traditional education in cardiopulmonary resuscitation, *Circulation*, 106(9), 1065-1070.
- Chan, T.C., Li, H., Lebovic, G., Tang, S.K., Chan, J.Y., Cheng, H.C., and Brooks, S.C., 2013, Identifying locations for public access defibrillators using mathematical optimization, *Circulation*, CIRCULATION-AHA-113.
- Church, R. and ReVelle, C., 1974, The maximal covering location problem, *Papers of the Regional Science Association*, 32(1), 101-118.
- Estes III, N.M., 2011, Predicting and preventing sudden cardiac death, *Circulation*, 124(5), 651-656.
- Folke, F., Lippert, F.K., Nielsen, S.L., Gislason, G.H., Hansen, M.L., Schramm, T.K., and Køber, L., 2009, Location of cardiac arrest in a city center: strategic placement of automated external defibrillators in public locations, *Circulation*, 120(6), 510-517.
- Hansen, C.M., Lippert, F.K., Wissenberg, M., Weeke, P., Zinckernagel, L., Ruwald, M.H., and Torp-Pedersen, C., 2014, Temporal trends in coverage of historical cardiac arrests using a volunteer-based network of automated external defibrillators accessible to laypersons and emergency dispatch centers, *Circulation*, CIRCULATIONAHA-114.
- Hansen, C.M., Wissenberg, M., Weeke, P., Ruwald, M.H., Lamberts, M., Lippert, F.K., and Folke, F., 2013, Automated external defibrillators inaccessible to more than half of nearby cardiac arrests in public locations during evening, nighttime, and weekends, *Circulation*, 128(20), 2224-2231.
- Huang, C.Y. and Wen, T.H., 2014, Optimal installation locations for automated external defibrillators in Taipei 7-Eleven stores: using GIS and a genetic algorithm with a new stirring operator, *Computational and mathematical methods in medicine*, <https://doi.org/10.1155/2014/241435>.
- Kim, H., Chun, Y., and Kim, K., 2015, Delimitation of Functional Regions Using a p-Regions Problem Approach, *International Regional Science Review*, 38(3), 235-263.
- Kitamura, T., Iwami, T., Kawamura, T., Nagao, K., Tanaka, H., and Hiraide, A., 2010, Nationwide public-access defibrillation in Japan, *New England Journal of Medicine*, 362(11), 994-1004.
- Larsen, M.P., Eisenberg, M.S., Cummins, R.O., and Hallstrom, A.P., 1993, Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest: a graphic model, *Annals of emergency medicine*, 22(11), 1652-1658.
- Malcom III, G.E., Thompson, T.M., and Coule, P.L., 2004, The location and incidence of out-of-hospital cardiac arrest in Georgia: implications for placement of automated external defibrillators, *Prehospital Emergency Care*, 8(1), 10-14.
- Moon, S., Vadeboncoeur, T.F., Kortuem, W., Kisakye, M., Karamooz, M., White, B., and Bobrow, B.J., 2015, Analysis of out-of-hospital cardiac arrest location and public access defibrillator placement in Metropolitan Phoenix, Arizona, *Resuscitation*, 89, 43-49.
- Myerburg, R.J., Fenster, J., Velez, M., Rosenberg, D., Lai, S., Kurlansky, P., and Castellanos, A., 2002, Impact of community-wide police car deployment of

- automated external defibrillators on survival from out-of-hospital cardiac arrest, *Circulation*, 106(9), 1058-1064.
- Ong, M.E.H., Tan, E.H., Yan, X., Anushia, P., Lim, S.H., Leong, B.S.H., and Anantharaman, V., 2008, An observational study describing the geographic-time distribution of cardiac arrests in Singapore: what is the utility of geographic information systems for planning public access defibrillation? (PADS Phase I), *Resuscitation*, 76(3), 388-396.
- Public Access Defibrillation Trial Investigators, 2004, Public-access defibrillation and survival after out-of-hospital cardiac arrest, *New England Journal of Medicine*, 351(7), 637-646.
- Siddiq, A.A., Brooks, S.C., and Chan, T.C., 2013, Modeling the impact of public access defibrillator range on public location cardiac arrest coverage, *Resuscitation*, 84(7), 904-909.
- Skogvoll, E. and Lindqvist, B.H., 1999, Modeling the occurrence of cardiac arrest as a Poisson process, *Annals of Emergency Medicine*, 33(4), 409-417.
- Strömsöe, A., Svensson, L., Axelsson, Å.B., Claesson, A., Göransson, K.E., Nordberg, P., and Herlitz, J., 2014, Improved outcome in Sweden after out-of-hospital cardiac arrest and possible association with improvements in every link in the chain of survival, *European Heart Journal*, 36(14), 863-871.
- Sun, C.L., Demirtas, D., Brooks, S.C., Morrison, L.J., and Chan, T.C., 2016, Overcoming spatial and temporal barriers to public access defibrillators via optimization, *Journal of the American College of Cardiology*, 68(8), 836-845.
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., and Bergman, L., 1971, The location of emergency service facilities, *Operations Research*, 19(6), 1363-1373.
- Tsai, Y.S., Ko, P.C.I., Huang, C.Y., and Wen, T.H., 2012, Optimizing locations for the installation of automated external defibrillators (AEDs) in urban public streets through the use of spatial and temporal weighting schemes, *Applied Geography*, 35(1-2), 394-404.
- Valenzuela, T.D., Roe, D.J., Cretin, S., Spaite, D.W., and Larsen, M.P., 1997, Estimating effectiveness of cardiac arrest interventions: a logistic regression survival model, *Circulation*, 96(10), 3308-3313.
- Warden, C., Cudnik, M.T., Sasson, C., Schwartz, G., and Semple, H., 2012, Poisson cluster analysis of cardiac arrest incidence in Columbus, Ohio, *Prehospital Emergency Care*, 16(3), 338-346.
- Weaver, W.D., Hill, D., Fahrenbruch, C.E., Copass, M.K., Martin, J.S., Cobb, L.A., and Hallstrom, A.P., 1988, Use of the automatic external defibrillator in the management of out-of-hospital cardiac arrest, *New England Journal of Medicine*, 319(11), 661-666.
- Weisfeldt, M.L., Kerber, R.E., McGoldrick, R.P., Moss, A. J., Nichol, G., Ornato, J.P., and Smith Jr, S.C., 1995, Public access defibrillation: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association Task Force on Automatic External Defibrillation, *Circulation*, 92(9), 2763-2763.
- Weisfeldt, M.L., Sitlani, C.M., Ornato, J.P., Rea, T., Aufderheide, T.P., Davis, D., and Sopko, G., 2010, Survival after application of automatic external defibrillators before arrival of the emergency medical system: evaluation in the resuscitation outcomes consortium population of 21 million, *Journal of the American College of Cardiology*, 55(16), 1713-1720.
- 국가공간정보포털, <http://www.nsd.go.kr>
- E-Gen, <http://www.e-gen.or.kr>
- 교신 : 김감영, 41566, 대구광역시 북구 대학로 80, 경북대학교 사범대학 지리교육과(이메일: kamyoungkim@knu.ac.kr)
- Correspondence : Kamyoung Kim, 41566, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, Korea, Department of Geography Education, Kyungpook National University (Email: kamyoungkim@knu.ac.kr)
- 투고접수일: 2021년 3월 12일
 심사완료일: 2021년 3월 28일
 게재확정일: 2021년 4월 5일