

중증응급환자 전담 응급의료센터 운영모형 개발 - 시뮬레이션을 바탕으로 Development of Simulation Model of Emergency Medical Center for Severe Emergency Patients

임종욱¹, 조윤형¹, 유재상¹, 홍기정², 김기홍², 임혁재², 송경준³, 이경원³, 홍유석¹

¹서울대학교 산업공학과&산업시스템혁신연구소, ²서울대병원 응급의학과,

³서울특별시 보라매병원

¹yhong@snu.ac.kr

초록

비중증환자의 높은 비중으로 인한 대형병원 내 응급실의 만성적인 과밀화는 중증응급환자의 처치가 골든타임 안에 이루어지지 못하는 원인이 된다. 중증환자의 효율적인 처치를 위한 중증응급환자 전담 응급의료센터의 도입이 고려되고 있다. 본 연구는 중증응급환자 전담 응급의료센터의 도입이 서울 응급의료체계에 미칠 효과를 시뮬레이션 모형을 통해 분석한다. 서울 소재의 병원들 중 일부를 중증응급의료센터로 전환하고 내원한 환자 수, 그들의 체류시간 및 대기시간을 측정한다. 이를 토대로 중증응급의료센터로 전환할 병원의 수와 대상들을 탐색하고자 한다.

1. 서론

응급 병원의 과밀화는 응급환자들의 시기적절한 처치를 어렵게 만드는 원인이다[1]. 응급 병원의 과밀화를 야기하는 하나의 이유로서 비중증환자들의 높은 비중을 꼽을 수 있다. 2017년 서울 소재의 응급의료센터 한 개소에 대해 한국형 응급환자 분류도구(Korean Triage and Acuity Scale; KTAS)를 기준으로 환자의 중증도를 분류한 바, 상대적으로 높은 중증도를 가지는 KTAS 1, 2에 속한 환자가 전체 환자 중 11%, 낮은 중증도를 가지는 KTAS 3, 4, 5에 속한 환자가 89%를 차지함을 확인하였다. 이렇듯 비중증응급환자들로 인한 응급의료센터의 과밀화는 병원 내 한정된 자원이 비효율적으로 할당되도록 하여 응급환자들의 대기시간

을 길게 한다.

이러한 문제에 대응하기 위한 하나의 방안으로써 중증응급환자 전담 응급의료센터(이하 중증응급의료센터)의 도입이 논의되고 있다. 이는 특정한 응급의료센터를 지정하여 중증응급환자만을 전담토록 하는 방안이며, (1) 중증응급환자가 그 외 응급의료기관에 내원한 경우 중증응급의료센터로 전원(referral) (2) 비중증응급환자가 중증응급의료센터에 내원한 경우 그 외 응급의료기관으로 전원하는 것을 핵심으로 한다.

본 논문에서는 중증응급의료센터의 운영에 대한 이산 사건 기반 시뮬레이션 모형 구축을 수행한다. 중증응급의료센터의 도입이 의료 체계에 미칠 효과를 정량적으로 분석하는 것을

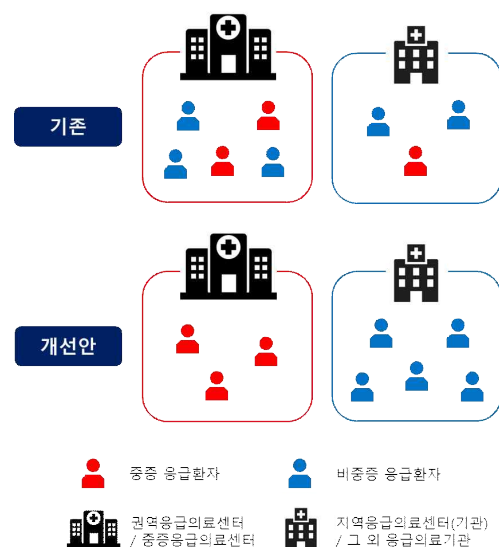


그림 1 중증응급의료센터 도입 전후 환자의 분포 묘사

목표로 한다. 구축된 시뮬레이션 모형을 서울시 내 응급의료체계에 적용하여 현재 권역응급의료센터, 지역응급의료센터, 지역응급의료기관으로 구분되어 있는 현행 응급의료시스템에 대해 중증응급의료센터의 도입이 어떠한 영향을 끼칠지 그 효과를 파악하고자 한다. 나아가 도출된 체류 환자수, 내원 환자수, 그들의 대기시간 등의 지표를 토대로 적절한 중증응급의료센터의 개소수를 산정하는 것을 최종 결과물로 한다.

이후 2장에서는 환자의 중증도를 기반으로 응급의료시스템을 개선하고자 하였던 선행 연구들에 대한 조사를 수행하며 3장에서는 본 논문에서 제안하는 중증응급의료센터에 대한 시뮬레이션 모형 구축에 대해 서술한다. 4장은 서울시 내 응급의료체계에 대해 시뮬레이션 모형을 적용한 사례 연구를 다루며 5장에서 토의 및 결론으로써 논문을 마무리한다.

2. 선행연구

응급실의 과밀화 문제는 학계의 주목을 받아왔으며 과밀화를 야기하는 원인[1,2], 과밀화 상태를 평가하는 지표[3-5], 과밀화가 응급의료체계에 미치는 영향[2,6,7]에 대해서 연구되어온 바 있다.

특히 응급실 과밀화 지표 및 영향을 분석하기 위하여 많은 연구들이 현실의 상황을 묘사하고 확실적인 움직임을 반영한 시뮬레이션을 활용하였다. Hoot 등은 응급실의 환자의 내원부터 퇴원까지의 각 프로세스의 소요 시간에 대한 분포를 추정하여 이산 사건 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 통해 미래 시점의 응급실 포화도를 예측하는 연구를 진행하였다[8]. Ahalt 등은 기존의 응급실의 혼잡도 지표를(EDWIN, NEDOCs, READI) 활용하여 이산 사건 시뮬레이션을 통해 시간에 따른 지표들의 값을 도출하여 응급실 과밀화를 분석하였다[9]. 또한 응급 병원 복도의 혼잡도를 줄이기 위하여 복도에서 중증도 분류를 수행하는 정책이 제안된 바 있으며[10], 제안에 대한 효과를 이산 사건 시뮬레이션을 통해 확인하였다. Lin 등은 앰블런스를 타고 내원하는 환자들에 대하

여 응급 병원의 포화도에 따라 앰블런스의 행선지를 정하는 앰블런스 우회제에 대한 전략을 제안하였다[11]. 이에 대하여 다양한 상황에 대한 시나리오를 정의한 후 이산 사건 시뮬레이션을 통하여 분석을 수행하였다.

이 외에도 응급실 과밀화 문제에 대응하기 위한 방안으로써 의료 자원의 추가[12-14], 비 중증환자를 전담하는 패스트트랙의 도입[15,16] 등의 논의가 이루어진 바 있다. 본 논문에서는 환자의 중증도를 기준으로 환자를 분류하고 및 분류를 기반으로 한 응급실 과밀화 대응 방안

에 주목한다. Seymour 등은 의료기관 방문 전 환자의 중증도를 분류하고 이를 기준으로 환자를 전원 병원과 비전원 병원으로 구분하여 이송하는 의료 체계의 지역화(regionalization)에 대한 효과를 이산 사건 시뮬레이션을 통해 검증하였다[17]. Eligible King County의 사례를 통해 지역화의 효과를 파악하였으나, 전원 병원과 비전원 병원을 고정된 상황에서 분석하였다는 점에서 한계를 지닌다. 미국의 동남 온타리오 주의 Level 1 trauma Center와 지역센터 병원의 사례를 통해 각 병원이 중증환자와 비중증환자를 나눠 받았을 때의 영향을 이산 사건 시뮬레이션을 통해 검증한 연구가 있으나[18], 각 1개씩의 병원 수로 한정하였다. 영국의 Derriford 병원 사례를 통해 MTC(Major Trauma Center) 내에서 외상성 손상을 진단받은 중증환자와 비중증환자를 따로 받아 치료하는 two-tier trauma team 시스템을 도입했을 때의 효과를 분석하고 시스템의 우월성을 입증한 연구가 있었지만[19], 하나의 병원 내에서 시스템을 둘로 나누어 분석하였다.

이렇듯 응급실 과밀화에 대해 환자의 중증도 분류 및 시뮬레이션 기법을 토대로 전략을 제안한 연구들이 진행되었다. 그러나 여러 개의 응급의료기관을 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 중증환자를 전담하는 병원을 선정하는 의사결정에 도움을 주었던 연구는 미비하였던 바, 본 연구에서는 중증응급의료센터에 대한 시뮬레이션 모형 구축과 그 선정을 하는 과정까지 다루었다는 점에서 의의를 갖는다.

3. 시뮬레이션 모형

본 연구는 이산 사건 시뮬레이션(discrete event simulation)에 기반하여 중증응급환자 전담 응급의료센터 모델을 구성하였다. 이산 사건 시뮬레이션이란 시스템 변화에 따른 효과를 추정하는 시뮬레이션 방법으로 개인 수준의 상호작용이 시스템에 미치는 영향을 반영할 수 있다. 미시적인 단위에서 시스템을 구성하는 작업 및 자원에 대해 분석하는 데 효과적이며 프로세스 내에서 발생하는 대기 줄(queue)에 대한 모델링이 가능하다는 장점이 있다.

환자 응급처치의 전체 프로세스의 경우 환자의 발생, 내원, 중증도 분류, 이송, 처치 그리고 퇴실까지 각 사건(event)을 기준으로 시스템이 변화하며 응급실이 과밀화됨에 따라 각 사건에서 대기 줄이 발생한다. 이와 같은 상황의 특성을 고려하였을 때 중증응급환자 전담 응급의료센터 모델로써 시간의 흐름에 따라 사건들을 추적하고 자원의 이용률을 확인할 수 있는 이산 사건 시뮬레이션이 적합하다고 말할 수 있다.

이산 사건 시뮬레이션을 구현하기 위해서는 먼저 각 사건을 통과하는 행위자(agent)와 행위자가 프로세스를 수행하는 데 요구되는 자원(resource)에 대한 정의가 필요하다. 이를 다음의 3.1과 3.2에서 구체적으로 모델링한다. 그리고 이를 바탕으로 3.3에서 시뮬레이션의 핵심이 될 전원에 대한 논리를 서술한다.

3.1. 행위자 모델링

본 시뮬레이션 모델에서 행위자는 응급실에 내원한 환자로 정의한다. 환자는 응급실 내의 중증도 분류 결과를 기준으로 중증환자와 비중증환자로 나뉜다. 이때 중증환자에 판단하는 기준은 지역마다 혹은 응급실 분포에 따라 상이할 수 있다. 본 연구의 시뮬레이션 모형에서 활용한 중증도 분류에 대한 내용은 4장에서 기술한다.

환자가 시스템에 들어와서 퇴원할 때까지의 전반적인 프로세스를 이산 사건의 연속으로 간주할 때 다음의 그림 2의 모델로 설명될 수 있다.

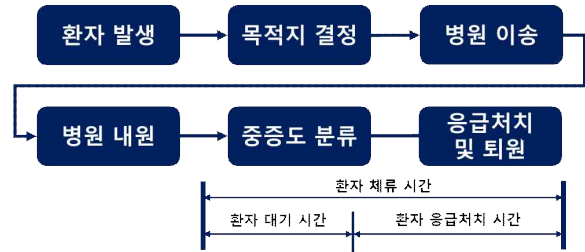


그림 2 환자의 발생부터 소멸까지의 프로세스

환자의 응급처치 시뮬레이션 프로세스는 환자가 특정 응급의료기관에 도착하여 시스템에 발생하는 것으로 시작한다. 이때 환자는 119 지침 기준 등의 수단을 통해 간호사 또는 의사의 중증도 분류 이전 자신의 중증도를 사전적으로 알고 있다고 가정한다. 만약 환자의 중증도와 알맞지 않은 응급의료기관에 도착한 경우엔 적절한 병원으로 전원하고 반대의 경우엔 그대로 도착한 병원에 입원을 진행한다. 병원이 확인이 된 이후에는 최종 환자의 중증도를 분류하고 그에 따라 각기 다른 처치 시간(processing time)을 보낸 이후에 퇴원하게 된다.

본 시뮬레이션 모델에서는 환자가 응급의료기관에 내원한 이후 응급실을 퇴원하기까지의 과정에 대해 환자의 체류시간, 대기시간, 그리고 응급처치시간을 구분하여 정의하였다. 환자의 대기시간은 병원에 환자가 내원하여 초기 중증도 분류를 받기 전까지의 시간으로 보았다. 중증도 분류를 마친 이후 환자는 응급처치를 곧장 받는 것으로 가정하며 처치 이후 퇴원 과정을 통해 시스템에서 소멸하게 된다. 환자의 체류시간(length of stay; LOS)은 환자가 내원하여 퇴원하기까지 소요된 시간이며 환자의 대기시간과 처치시간의 합이다.

3.2. 자원 모델링

본 연구에서의 응급실 내 자원은 중증응급의료센터의 병상 수로 한정하여 고려한다. 이는 중증환자를 담당하는 중증응급의료센터의 경우 환자가 응급실 내 병상을 차지하는 상황을 반영하기 위함이며 중증환자가 체류하는 시간을 효과적으로 산정할 수 있기 때문이다. 즉 환자가 내원할 때 하나의 병상을 차지하고 처치받

는 동안 병상을 점유하며 퇴원할 때 여유 병상 하나가 다시 들어나는 것으로 모델링하였다.

반면 비중증환자를 담당하게 되는 그 외 기관의 경우엔 병상 수의 제한 없이 환자에 대해 처치가 가능하다고 가정하였다. 이는 비중증환자는 전체 처치시간 동안 하나의 병상을 계속 차지하기보다는 간단한 처치 이후 퇴원하는 경우가 많음을 고려한 것이다. 따라서 그 외 기관의 경우 무제한의 병상 수를 가정하여 병상 수의 부족으로 인한 대기 줄이 발생하지 않는 것으로 모델에 반영하였다.

3.3. 전원 논리 모델링

앞서 정의한 행위자와 자원에 대한 정의를 토대로 중증응급의료센터와 비중증응급의료센터 사이의 전원이 수행되는 논리에 대해 서술한다. 실시간 자원의 상태에 따라 행위자의 행동이 달라지며, 응급의료기관 사이 환자의 분포 양상이 결정지어진다.

최초 방문 응급실에 도착한 이후, 환자는 자신의 중증도를 기준으로 이송 여부가 결정된다. 이송이 되는 경우는 크게 두 가지로 (1) 본인의 중증도가 비중증으로 판단되었으나 현재 중증응급의료센터에 방문한 경우 혹은 (2) 중증도 결과가 중증으로 판단되었으나 현재 중증응급의료센터가 아닌 그 외 응급의료센터에 방문한 경우이다.

우선 첫번째의 경우 중증도가 상대적으로 낮은 비중증환자이기 때문에 처치에 대한 시간적인 압박감이 중증환자보다 떨어짐을 고려한다. 그러므로 권역 내 임의의 그 외 응급의료

기관에게 전원하도록 한다.

반면 두번째 경우엔 중증환자에 대해 신속한 처치가 요구되며 최대한 가까운 중증응급의료센터에 이송하는 것을 원칙으로 한다. 거리에 더하여 추가적인 기준으로써 중증응급의료센터가 감당할 수 있는 체류 환자수 기준을 설정하도록 한다. 이때 사용하는 기준 임계치는 중증응급의료센터를 도입하는 지역 및 의료 체계의 의사결정에 의해 정해지는 수치이다. 전원하고자 하였던 가장 가까운 중증응급의료센터의 실시간 체류 환자수가 해당 임계치를 넘지 않은 경우에는 전원을 수행한다. 그러나 그렇지 않은 경우에는 다음 거리의 중증응급의료센터를 탐색하여 실시간 체류 환자수가 임계치를 넘지 않는 중증응급의료센터를 탐색한다. 만약 모든 중증응급의료센터의 실시간 체류 환자수가 임계치를 넘은 경우엔 가장 체류 환자수가 적은 병원으로 이송하도록 한다.

4. 서울시 적용 사례 분석

4.1. 자료원 및 데이터 전처리 과정

시뮬레이션 수행을 위해 2017년 국가응급진료정보망(NEDIS) 자료를 활용하였다. 국가응급진료정보망(NEDIS)은 전국 응급의료기관으로부터 전송되는 진료 관련 정보를 실시간으로 수집한 정보망으로, 환자가 응급의료기관으로 지정된 의료기관 내 응급실에 질병, 질병 외, 진료 외 방문으로 내원하여 접수한 경우 데이터가 등록된다. 해당 데이터베이스에는 환자 기본정보, 내원 경로, 내원 수단, 질병 여부, 의도성 여부, 손상 기전, 주 증상, 응급진료 결

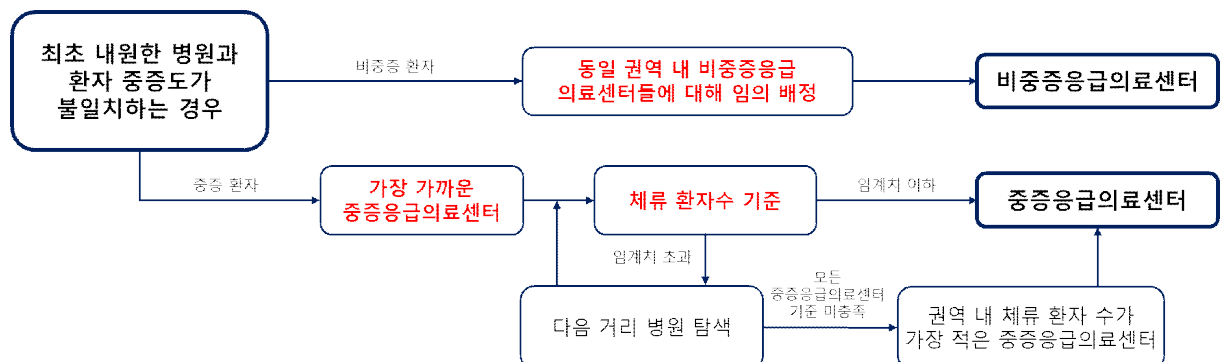


그림 3 내원한 병원과 환자의 중증도가 불일치한 경우에 대한 전원 프로세스 흐름도

과, 퇴실 시 진단 정보, 중증도 분류 결과, 응급실 내 검사/처치/수술코드 등의 정보가 수집되며 이를 통해 전국 응급의료 사용 현황을 파악할 수 있다. 본 연구에서는 NEDIS 내 정보 중 시뮬레이션에 활용한 정보들은 다음 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 활용 NEDIS 변수 목록

입력 변수 - NEDIS 자료원
의료기관지역
의료기관종별
의료기관명
내원일자, 내원시간
중증도분류일자, 분류시간
퇴실일자, 퇴실시간
최초 중증도 분류결과
내원 시 산소포화도
내원 시 수축기 혈압
내원 시 환자 반응
전문의원진료과목
응급진료결과
퇴실진단코드

NEDIS 자료와 함께 환자의 중증도 분류 결과에 따른 목적지 설정을 위해 병원의 위치 정보 및 응급의료기관 내 응급실 병상 수 데이터도 시뮬레이션에 활용하였다. 서울의 경우 응급의료기관을 총 4개 권역(서북, 서남, 동북, 동남)으로 분류하였고 각 응급의료기관의 도로명 GIS 주소를 위치 정보로 활용하였다.

4.2. 중증도에 따른 환자 구분

환자가 응급의료기관에 내원하게 되면 중증도 검사를 위해 한국형 응급환자 분류 도구인 KTAS를 수행하게 된다. KTAS 수행 결과에 따라 환자는 총 5개의 등급(1~5등급)을 부여받게 되고 등급의 숫자가 작을수록 중증도가 더 높아진다.

KTAS 등급 중 3등급의 경우, 전문가들의 의견에 따라 해당 등급의 환자들을 7개의 분석 환자군(6~12 분석환자군)으로 추가 분류하였고 각 환자군에 대한 설명은 다음 표 2와 같다. 환자의 KTAS 분류, 활력징후, 의식상태, 심근

경색 여부, 뇌졸중 여부, 특정 진료과 진료 필요 여부는 NEDIS 자료를 활용하여 산정하였다.

표 2 KTAS 3등급 환자군 추가 분류

추가 분류	분석 환자군
6	접수 시 활력징후 이상 (수축기 혈압 < 90mmHg 또는 산소포화도 < 90%)
7	접수 시 의식상태 이상 (의식상태가 Alert하지 않은 경우)
8	주진료과가 안과, 정신과, 비뇨의학과에 속함
9	주진료과가 소아과에 속함
10	주진료과가 산부인과에 속함
11	응급주진단명 상 심근경색
12	응급주진단명 상 뇌졸중

이 중 마찬가지로 전문가들의 의견에 따라 수합되어 정해진 중증응급의료센터의 환자 유입기준은 표 3과 같다.

표 3 중증응급의료센터 유입 기준

KTAS 등급	세부 설명
KTAS 1	KTAS 1 해당 환자
KTAS 2	KTAS 2 해당 환자
KTAS 3(6)	KTAS 3 - 활력징후 이상
KTAS 3(7)	KTAS 3 - 의식상태 이상
KTAS 3(11)	KTAS 3 - 심근경색
KTAS 3(12)	KTAS 3 - 뇌졸중

4.3. 환자 처치시간 추정

모델 내에서 자원의 처리시간이 되는 응급 처치 시간이 확률적으로 정해진다고 보았으며, 기존 NEDIS 자료를 토대로 분포를 추정하였다. 특히 (1) 환자가 내원한 응급의료기관의 종류에 따라 (2) 환자의 중증도 분류 결과에 따라 구분하여 분포를 세분화하였다. 이때 중증응급의료기관의 처치시간은 현재 권역응급의료센터로 지정되어 있는 병원들의 분포를 통해 추정하였으며, 그 외 응급의료기관의 경우 지역응급의료센터 및 지역응급의료기관의 정보를 사용하여 추정하였다.

추정 결과 기관별, 중증도별 응급처치 시

간은 세분화된 내용과 무관하게 로그 정규분포를 따랐으며, 로그 정규분포에 대한 파라미터만 상이함을 확인하였다[부록 표 1]. 예를 들어 중증응급의료센터에 내원한 KTAS 2등급 환자들의 응급처치시간은 그림 4와 같이 로그평균 3.74인 로그정규분포에 따라 확률적으로 결정된다.

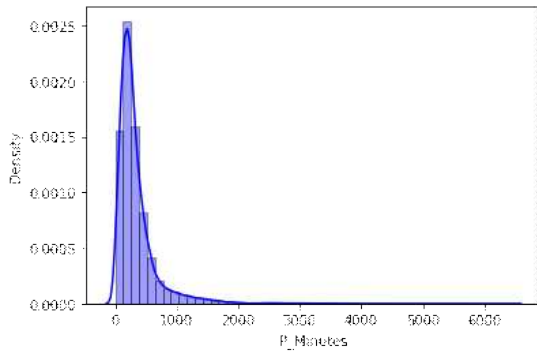


그림 4 중증응급환자 전담 응급의료센터 내 KTAS 2 환자 응급처치 시간 확률분포

5. 실험 수행 및 결과

5.1. 실험 설정 및 수행

Anylogic 프로그램을 활용하여 시뮬레이션 모형을 구현하였으며 이를 토대로 서울 시내 48개의 응급의료기관을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험은 서북, 서남, 동북, 동남으로 구분되어있는 서울의 권역별로 수행하였으며, 권역 사이 환자의 이동을 제한하였다.

실험의 목표로서 서울시 내의 적정 중증응급의료센터의 개소수를 찾기 위해 각 권역별로 중증응급의료센터의 개수를 1, 2, 3개로 바꾸어가며 실험 결과를 도출하였다. 이때 중증응급의료센터를 선정하는 기준으로는 기존의 응급의료기관에 대한 분류와 무관하게 병원의 병상수를 활용하였다. 예를 들어 한 권역 내에서 2개의 중증응급의료센터를 선정하고자 하였을 때 권역 내에서 병상수가 가장 많은 두 개의 병원을 선정하는 방식이다.

시뮬레이션 상에서 사용될 중증응급의료센터의 실시간 환자 체류환자수 기준 임계치는 전문가들의 의견에 따라 12.1명으로 설정하였다. 즉 중증응급의료센터 내 12.1명 이상의 환자가 체류하는 경우 해당 중증응급의료센터는

과밀화 상태라고 판단할 수 있으며, 비중증응급의료센터에서 해당 병원으로 중증응급환자를 전원하고자 할 때 다음 가까운 거리의 중증응급의료센터를 탐색하게 된다.

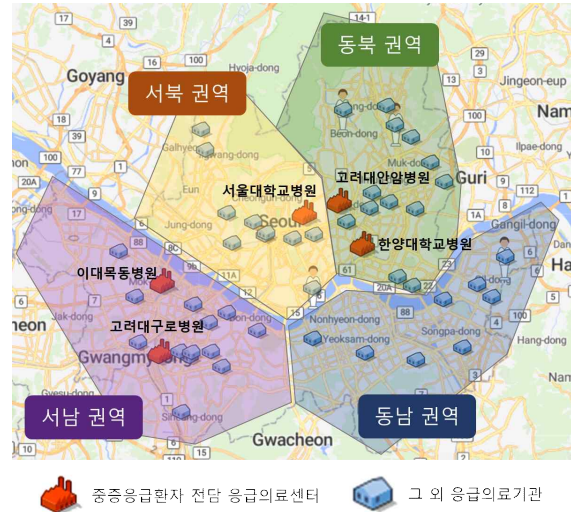


그림 5 서울 각 권역의 구분 및 중증응급의료센터 선정 예시

5.2. 실험 결과

실험을 수행하여 중증응급의료센터 및 그 외 응급의료기관에 대해 체류환자수 및 내원환자수, 환자 대기시간 및 체류시간에 대해 결과를 산출하였다. 서울 서북권역에 대해 결과를 제시하도록 하며, 나머지 세 권역에 대해서는 부록에 제시하도록 한다.

이때 체류환자수는 병원 내에 KTAS 분류를 대기하고 있는 대기환자 및 처치를 받고 있는 환자를 모두 포함한 환자수이다. 체류환자수가 미리 설정하였던 임계 기준치(12.1명)를 넘어가는 시간에 대하여 별도로 횟수를 확인하여 임계기준치 초과 시간 빈도를 다음 식 (1)과 같이 정의하였다.

임계기준치초과시간빈도

$$= \frac{\text{평균 체류환자수가 12.1명을 초과하는 시간의 횟수}}{\text{경과된 시간}} \quad (1)$$

위와 같은 내용을 중증응급의료센터 개소수에 따라 서울 서북권역 주중 시간대에 대해 정리한 결과는 표 4와 같다.

표 4 중증응급의료센터 개소수 변화에 따른 서북권역 주중 체류환자수 분석

		1개소	2개소	3개소
서북권역	평균 체류환자수	22.02명	11.03명	7.14명
	기준치 초과 빈도	0.98	0.45	0.20

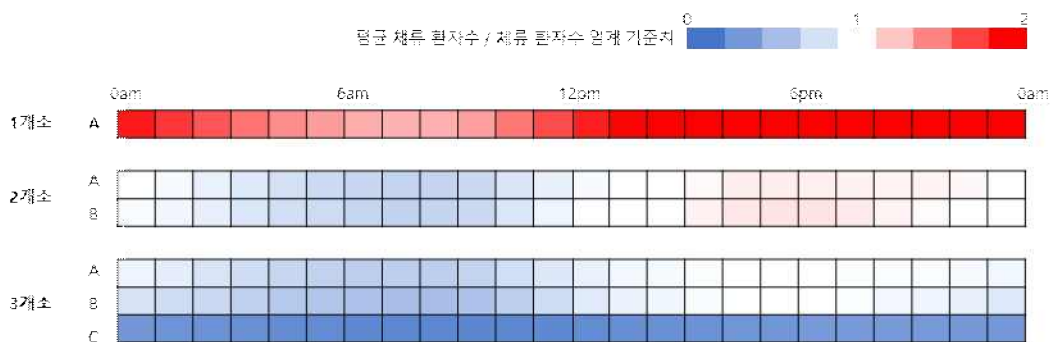


그림 6 중증응급의료센터 개소수 변화에 따른 서북권역 중증응급의료센터 병원별/시간대별 과밀화 분석

표 5 중증응급의료센터 개소수 변화에 따른 서북권역 주중 일평균 내원환자수 분석

		1개소	2개소	3개소
서북권역	중증응급의료센터	76.82명	38.41명	25.61명
	그 외 기관	85.57명	100.30명	115.06명

표 6 중증응급의료센터 개소수 변화에 따른 서북권역 대기시간 및 체류시간 분석

		1개소	2개소	3개소
서북권역	평균 대기시간	4.54분	1.60분	0.89분
	평균 체류시간	419.40분	411.94분	395.39분

표 7 서북지역 대상 중증응급의료센터 도입 후 기존 의료체계와의 지표 비교

		기존 의료체계 (권역응급의료센터)	새로운 정책 반영 의료체계 (중증응급의료센터 2개소)
서북권역	평균 체류환자수	29.59명	11.03명
	평균 내원환자수	178.94명	38.41명
	평균 대기시간	5.38분	1.60분
	평균 체류시간	230.95분	411.94분

표 5는 중증응급의료센터와 그 외 응급의료기관에 대해 일평균 내원환자수를 분석한 내용으로, 중증응급의료센터의 도입이 서울시 환자 분포에 미치는 영향을 나타낸다. 변화 추이를 살펴볼 때 중증응급의료센터의 개수가 늘어날수록 중증응급의료센터가 담당해야할 내원환자수는 줄어들며 상대적으로 가용한 자원이 줄어들게 되는 그 외 기관의 내원환자수는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이를 시간대별로 나타낸 것은 그림 6과 같다. 시간대별로 평균 체류환자수를 기준 임계치로 나누었을 때의 값을 추적하였다. 1개소를 선정하였을 때는 모든 시간에 대하여 과밀화가 되는 모습을 보였으나 개소수가 늘어감에 따라 시간대별로 다소간의 차이는 있으나 전체적인 과밀화의 정도가 낮아지는 것으로 확인되었다.

환자들이 병원에서 소요하게 되는 대기시간과 체류시간에 대한 결과는 표 6과 같다. 마찬가지로 중증응급의료센터의 개소수가 늘어날수록 평균 대기시간과 체류시간이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 중증응급환자의 경우 빠른 응급처치가 핵심임을 고려하였을 때 유의미한 결과라고 말할 수 있다.

적정 수준의 중증응급의료센터 개소수를 정하기 위한 기준으로써 체류환자수 임계 기준치를 사용한다. 임계 기준치 12.1명을 기준으로 이를 넘지 않도록 하는 가장 적은 개소수를 선정하는 기준을 세웠을 때 서북권역에 대한 개소수는 2개라는 결론이 도출된다. 같은 기준으로 나머지 세 권역에 대해 도출한 결과는 서남, 동북, 동남 각각에 대해 3, 2, 3개의 중증응급의료센터를 선정하는 것이었다[부록 표 5].

중증응급의료센터를 도입하였을 때의 지표와 기존 의료체계의 지표를 비교하였을 때 결과는 표 7과 같다. 이때의 비교는 기존 권역응급의료센터 한 개소와 중증응급의료센터로 선정된 두 개소의 병원의 평균값으로 수행하였다. 해석하였을 때 중증응급의료센터의 입장에서 과밀화가 해소되는 것을 확인할 수 있으며 환자 입장에서 또한 대기시간이 짧아지는 것을 확인할 수 있다. 단 체류시간의 경우 체류시간이 상대적으로 짧은 낮은 중증도의 환자가 다

른 병원으로 전원되어 체류시간이 긴 중증도가 높은 환자만이 남아 그 평균값이 커진 것을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 중증응급환자를 전담하는 중증응급의료센터를 반영한 시뮬레이션 모형을 구축하였다. 시뮬레이션 모형을 통해 중증응급의료센터의 효과를 검증하고 적정 개소수의 중증응급의료센터를 선정하는 작업을 수행하였다. 그 결과로 각종 지표에서 기존 의료체계보다 중증응급의료센터를 도입함으로써 중증응급환자가 과밀화되지 않은 병원 환경 내에서 보다 효과적인 처치를 받을 수 있음을 확인하였다.

다만 향후 연구에서 보완할 점으로 해당 시뮬레이션은 과거의 NEDIS 데이터를 재연하는 방식으로 진행되었다는 것을 들 수 있다. 이는 과거 발생한 사건에 대해 조건을 바꾸어 실험을 수행하는 what-if 분석에 해당하며 과거 지향적인 분석으로써 미래에 대한 예측을 얻기에는 적합하지 않다는 한계가 있다. 과거의 데이터를 기반으로 하였기에 병원을 내원하는 환자들의 패턴에 대한 정보를 효율적으로 반영할 수 있는 장점은 있으나 통계적으로 유의미한 결과를 얻기 위해서, 또 미래에 대한 예측을 수행하기 위해서는 환자의 발생에 대해 확률적인 접근을 하는 것이 요구된다.

또한 병원 내의 자원에 대해 중증응급의료센터 내의 병상수만을 그 대상으로 삼았다는 점을 한계로 꼽을 수 있다. 특히 중증응급의료센터가 아닌 그 외 기관에 대해서는 병상에 대한 제약 없이 무제한의 자원을 가정하였으나, 실제로는 병상이 아닌 다른 자원에 대해서 제약이 발생할 수 있음을 고려해야 한다. 병상 외에도 진료 공간, 의료 장비 등의 물적 자원과 의사, 간호사 등의 인적 자원이 포함될 수 있음을 고려하여 보다 현실적인 모형을 구축할 수 있을 것이다

참고문헌

- [1] Asplin, B. R., Magid, D. J., Rhodes, K. V., Solberg, L. I., Lurie, N., & Camargo Jr, C. A. (2003). A conceptual model of emergency department crowding. *Annals of emergency medicine*, 42(2), 173-180.
- [2] Hoot, N. R., & Aronsky, D. (2008). Systematic review of emergency department crowding: causes, effects, and solutions. *Annals of emergency medicine*, 52(2), 126-136.
- [3] Hwang, U., McCarthy, M. L., Aronsky, D., Asplin, B., Crane, P. W., Craven, C. K., ... & Bernstein, S. L. (2011). Measures of crowding in the emergency department: a systematic review. *Academic Emergency Medicine*, 18(5), 527-538.
- [4] Boyle, A., Beniuk, K., Higginson, I., & Atkinson, P. (2012). Emergency department crowding: time for interventions and policy evaluations. *Emergency medicine international*, 2012.
- [5] Jones, P. G., Mountain, D., & Forero, R. (2021). Emergency department crowding measures associations with quality of care: A systematic review. *Emergency Medicine Australasia*, 33(4), 592-600.
- [6] McCarthy, M. L., Zeger, S. L., Ding, R., Levin, S. R., Desmond, J. S., Lee, J., & Aronsky, D. (2009). Crowding delays treatment and lengthens emergency department length of stay, even among high-acuity patients. *Annals of emergency medicine*, 54(4), 492-503.
- [7] van der Linden, M. C., Meester, B. E., & van der Linden, N. (2016). Emergency department crowding affects triage processes. *International emergency nursing*, 29, 27-31.
- [8] Hoot, N. R., LeBlanc, L. J., Jones, I., Levin, S. R., Zhou, C., Gadd, C. S., & Aronsky, D. (2008). Forecasting emergency department crowding: a discrete event simulation. *Annals of emergency medicine*, 52(2), 116-125.
- [9] Ahalt, V., Argon, N. T., Ziya, S., Strickler, J., & Mehrotra, A. (2018). Comparison of emergency department crowding scores: a discrete-event simulation approach. *Health care management science*, 21(1), 144-155.
- [10] Valipour, S., Hatami, M., Hakimjavadi, H., Akçali, E., Swan, W. A., & De Portu, G. (2021). Data-driven design strategies to address crowding and boarding in an emergency department: A discrete-event simulation study. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 14(2), 161-177.
- [11] Lin, C. H., Kao, C. Y., & Huang, C. Y. (2015). Managing emergency department overcrowding via ambulance diversion: A discrete event simulation model. *Journal of the Formosan Medical Association*, 114(1), 64-71.
- [12] McConnell, K. J., Richards, C. F., Daya, M., Bernell, S. L., Weathers, C. C., & Lowe, R. A. (2005). Effect of increased ICU capacity on emergency department length of stay and ambulance diversion. *Annals of emergency medicine*, 45(5), 471-478.
- [13] Mumma, B. E., McCue, J. Y., Li, C. S., & Holmes, J. F. (2014). Effects of emergency department expansion on emergency department patient flow. *Academic Emergency Medicine*, 21(5), 504-509.
- [14] Komashie, A., & Mousavi, A. (2005, December). Modeling emergency departments using discrete event simulation techniques. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 2005(pp. 5-pp). IEEE.

- [15] Sanchez, M., Smally, A. J., Grant, R. J., & Jacobs, L. M. (2006). Effects of a fast-track area on emergency department performance. *The Journal of emergency medicine*, 31(1), 117-120.
- [16] Copeland, J., & Gray, A. (2015). A daytime fast track improves throughput in a single physician coverage emergency department. *Canadian Journal of Emergency Medicine*, 17(6), 648-655.
- [17] Seymour, C. W., Alotaik, O., Wallace, D. J., Elhabashy, A. E., Chhatwal, J., Rea, T. D., ... & Kahn, J. M. (2015). County-level effects of prehospital regionalization of critically ill patients: a simulation study. *Critical care medicine*, 43(9), 1807.
- [18] Jenkins, P., Rogers, J., Kehoe, A., & Smith, J. E. (2015). An evaluation of the use of a two-tiered trauma team activation system in a UK major trauma centre. *Emergency medicine journal*, 32(5), 364-367.
- [19] Edmonds, M. I., & O'Connor, H. M. (1999, October). The use of computer simulation as a strategic decision-making tool: a case study of an emergency department application. In *Healthcare Management Forum*(Vol. 12, No. 3, pp. 32-38). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

부록

부록 표 1 환자 응급처치시간에 대한 로그 정규분포 평균 추정 결과

KTAS	중증응급의료센터	이외 응급의료기관
1	4.99	4.54
2	5.46	5.30
3(6)	5.57	5.58
3(7)	5.77	5.68
3(8)	5.51	5.39
3(9)	4.81	4.77
3(10)	5.06	5.34
3(11)*	296.0	330.5
3(12)	5.60	5.53
4	4.48	4.61
5	3.74	3.92

*KTAS 3(11)등급의 경우 해당되는 환자의 수가 적어 응급처치 시간의 분포를 추정하는 데 한계가 존재하여 응급처치 시간을 확률분포 대신 표본의 중앙값으로 설정하였다.

부록 표 2 중증응급의료센터 개소수 변화에 따른 각 권역별 주중 체류환자수 분석

		1개소	2개소	3개소
서북권역	평균 체류환자수	22.02명	11.03명	7.14명
	기준치 초과 빈도	0.98	0.45	0.20
서남권역	평균 체류환자수	24.59명	12.53명	8명
	기준치 초과 빈도	0.97	0.52	0.15
동북권역	평균 체류환자수	22.46명	10.98명	7.38명
	기준치 초과 빈도	0.97	0.52	0.15
동남권역	평균 체류환자수	30.36명	15.03명	10.00명
	기준치 초과 빈도	1	0.79	0.2

부록 표 3 중증응급의료센터 개소수 변화에 따른 권역별 주중 일평균 내원환자수 분석

		1개소	2개소	3개소
서북권역	중증응급의료센터	76.82명	38.41명	25.61명
	그 외 기관	85.57명	100.30명	115.06명
서남권역	중증응급의료센터	89.07명	44.49명	29.69명
	그 외 기관	79.68명	85.88명	93.14명
동북권역	중증응급의료센터	78.48명	39.24명	26.16명
	그 외 기관	75.17명	82.83명	92.10명
동남권역	중증응급의료센터	106.96명	53.48명	35.65명
	그 외 기관	127.92명	149.02명	170.68명

부록 표 4 중증응급환자 전담 응급의료센터 개소 수에 따른 응급의료기관 환자 평균 체류시간 및 초기평가까지 대기시간

		1개소	2개소	3개소
서북권역	평균 대기시간	4.54분	1.60분	0.89분
	평균 체류시간	419.40분	411.94분	395.39분
서남권역	평균 대기시간	5.13분	4.05분	1.83분
	평균 체류시간	398.14분	405.20분	385.94분
동북권역	평균 대기시간	9.10분	5.89분	2.73분
	평균 체류시간	411.70분	406.73분	403.82분
동남권역	평균 대기시간	6.07분	4.83분	3.93분
	평균 체류시간	405.03분	405.03분	405.45분

부록 표 5 중증응급의료센터 도입 후 기존 의료체계와의 지표 비교

		기존 의료체계 (권역응급의료센터)	새로운 정책 반영 의료체계 (중증응급의료센터)
서북권역 (2개소)	평균 체류환자수	29.59명	11.03명
	평균 내원환자수	178.94명	38.41명
	평균 대기시간	5.38분	1.60분
	평균 체류시간	230.95분	411.94분
서남권역 (2개소)	평균 체류환자수	20.68명	12.53명
	평균 내원환자수	126.96명	44.49명
	평균 대기시간	4.05분	1.08분
	평균 체류시간	225.52분	405.20분
동북권역 (2개소)	평균 체류환자수	31.55명	10.98명
	평균 내원환자수	358.22명	39.24명
	평균 대기시간	33.55분	5.89분
	평균 체류시간	227.00분	406.73분
동남권역 (3개소)	평균 체류환자수	15.68명	10.00명
	평균 내원환자수	99.78명	35.65명
	평균 대기시간	3.93분	0.65분
	평균 체류시간	216.19분	405.45분