

실시간데이터를 활용한 응급의료 프로세스 운영에 관한 연구

김대범[†]

A Study on Operation Problems for the Emergency Medical Process Using Real-Time Data

Daebeom Kim[†]

ABSTRACT

Recently, interest in improving the quality of EMS(emergency medical services) has been increasing. Much effort is being made to innovate the EMS process. The rapid progress of ICT technology has accelerated the automation or intelligence of EMS processes. This study suggests an emergency room management method based on real-time data considering resource utilization optimization, minimization of human error and enhancement of predictability of medical care. Emergency room operation indices - Emergency care index, Short stay index, Human error inducing index, Waiting patience index - are developed. And emergency room operation rules based on these indices are presented. Simulation was performed on a virtual emergency room to verify the effectiveness of the proposed operating rule. Simulation results showed excellent performance in terms of length of stay.

Key words : Emergency room, Emergency medical process, Real-time data, Operation index, Resource allocation

요약

최근 응급의료 서비스의 질 제고에 관심이 높아지고 있는 가운데 응급의료 프로세스의 혁신에 많은 노력을 기울이고 있다. ICT기술의 급속적인 진전에 의해 응급의료 프로세스의 자동화 또는 지능화가 가속화되고 있다. 본 연구는 자원 활용 최적화, 인적오류 최소화 그리고 진료 예측가능성 제고를 고려한 실시간데이터 기반 응급실 운영 방안을 제안한다. 응급실 운영지수-응급 케어지수, 체류 단축지수, 인적오류 유발지수, 대기 인내지수-를 개발하고, 이를 기반으로 한 응급실 운영규칙을 제시한다. 가상의 축소 응급실을 대상으로 시뮬레이션을 실시하여 제안한 운영규칙의 효과성을 검증하였다. 시뮬레이션 결과 응급실 체류시간에서 우수한 성능을 보였다.

주요어 : 응급실, 응급의료 프로세스, 실시간데이터, 운영지수, 자원할당

1. 서론

최근 의료서비스의 패러다임이 환자 중심으로 변화되는 가운데 응급실의 경영환경은 매우 힘든 상황이다. 응급의료에 관한 법적기준이 강화되고 있으며, 매년 국고

지원금과 연동한 응급의료기관 평가를 실시하고 있다. 24시간 양질의 치료 서비스를 유지하기 위해서는 응급수술, 중환자 진료, 입원병실 등에 많은 시설과 인력이 요구되므로 정부의 지원금만으로는 응급의료 질적 수준을 보장받기 힘든 상황이다(오영호, 2014; 임호근, 2016). 응급프로세스의 효과 및 효율을 제고하는 응급의료 프로세스 혁신에 많은 노력을 기울이고 있으나 충분한 응급의료 시설, 인력, 응급장비 확충에는 수익성의 문제로 한계가 있다. 김용식(2016)은 새로운 방식의 사고와 리더십으로 비용을 최적화하고 근본적인 문제를 해결하는 의료프로세스 혁신이 필요하며, 이를 위해 원활한 환자흐름, 낭비요소 제거, 편차 최소화, 수요와 공급 동기화, 지속적인

* 본 논문은 2015학년도 강남대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행된 것임

Received: 14 August 2017, Revised: 25 September 2017,
Accepted: 27 September 2017

[†] Corresponding Author: Daebeom Kim

E-mail: dbkim@kangnam.ac.kr

Kangnam University, Industrial System Engineering

혁신 및 조직문화를 성공적으로 달성한 것이 핵심임을 강조하고 있다.

응급실 프로세스 개선에 다양한 연구가 시도되고 있다. 사용한 방법론 기준으로 기존연구를 몇 가지 범주로 나누어서 살펴본다. 시뮬레이션, 린시스템(Lean System), 6시그마, 제약이론(Theory of Constraints, TOC) 기법을 활용한 응급의료 프로세스 혁신 연구가 이루어지고 있다. TOC는 기업의 지속적인 개선을 추구하는 접근방법으로 시스템의 목적 달성을 저해하는 제약자원을 찾아내어 이를 극복하여 기업의 수익창출에 기여하는 경영기법이다. Park et al.(2008)은 환자 수 예측과 시뮬레이션 연계 모델을 통해 의사, 전공의, 병상, 간호사의 짧은 기간 내에 예상되는 부하수준을 계산하고 이를 바탕으로 자원을 효율적으로 관리 방안을 제시하였다. 모창우 외(2009)는 임시병상수별로 최적의 협진시간과 입원대기시간의 상한치 결정 등의 최적 운영 파라미터 셋을 설정하는 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 김현수 외(2010)는 중증외상환자에 대해 총 체류시간 목표치에 미달하는 것을 불량으로 정의한 후 Six Sigma 활동을 통해 체류시간 불량율과 진료과정별 소요시간을 감소시켜 중증외상환자 진료의 질을 향상시켰다. 응급실의 병목 프로세스를 찾고 이를 개선하는데 린(Lean) 6시그마와 시뮬레이션 기법이 활용되었다(Ferrin, 2007; 한재현 외, 2011). 박찬석 외(2011)은 TOC를 활용하여 C대학교 종합병원의 환자 대기시간을 줄였다. 대기시간 병목 지점인 수납업무 프로세스에 TOC를 적용하였다.

BPM(Business Process Management) 기법을 활용한 응급의료 프로세스에 관한 연구가 이루어지고 있다. BPM은 기업의 생산성을 제고하기 위해 업무 절차를 체계적으로 설계, 관리, 개선하는 활동을 지원하는 총체적인 관리 방법론이다. 미리 정의된 정형화된 프로세스 모델을 따라 실제 업무를 프로세스 참여자원에 부여함으로써 업무를 진행하는 방식으로 기술적으로는 비즈니스 프로세스의 자동화를 의미하는 워크플로우를 포괄하고 있다. BPM시스템은 이러한 BPM 방법을 구체화하여 효율적인 업무 환경을 지원하는 소프트웨어 시스템이다(이승현 외 2004). BPM의 주요 내용은 프로세스를 가시화하고, 프로세스의 자동화하며, 주요 성과지표의 값을 실시간으로 제공한다(Elzinga, et al., 1995). 응급실에 BPM 기법을 도입을 활용하면 인적/물적 자원최적으로 배치하여 프로세스 흐름속도를 제고할 수 있다. 환자의 의료사고 감소로 인해 의료의 안정성이 확보되고 나아가 의료서비스의 질 향상에도 도움이 된다(Schatten et al., 2007). 이수현

외(2008)는 BPM 아키텍처를 사용하여 응급실 진료프로세스를 표준화하고 이를 가시화함으로써 의료진이 신속한 응급업무 대응이 가능한 응급신속대응관리시스템(EQRMS)을 제안하였다. 제시한 시스템은 환자에 대한 실시간 모니터링이 가능하고 나아가 병원의 이윤 극대화에 기여할 것으로 평가하였다.

ICT기술의 급속적인 발전에 따라 ICT를 기반으로 한 응급의료 프로세스 혁신 연구가 추진되고 있다. 김원희 외(2009)는 협진의사를 SMS문자를 통해 자동으로 호출하는 시스템을 개발하여 협진 전공의 또는 의사의 응급실 도착시간을 줄여서 고객만족도를 높이고 응급실 호출업무 부담을 경감시켜 응급실 전문인력의 업무강도를 줄이는 효과를 거두었다. 최중수 외(2014)는 삼성서울병원의 건강검진 센터의 스마트 건강검진 시스템 구축사례를 제시했다. 종이 차트 및 수작업에 의존하는 기존의 비효율적인 방식에서 탈피하여 능동형 RFID, NFC, 스마트 기기 등 첨단 IT 기술의 융합을 활용하여 건강검진 프로세스를 혁신하였다. 고객 서비스 품질 및 고객 만족도 제고, 직원들의 업무 부하 경감, 업무 정확도 제고, 병원 경쟁력 강화 등의 효과를 보였다. 진료의 오류를 예방하는 자동화 시스템이 개발되고 있다. 네오젠소프트 neoPOCS(2013)은 RFID 및 바코드를 활용하여 환자의 처치 및 투약, 각종 업무를 안전하게 수행할 수 있도록 하는 솔루션이다. 간호사가 시행한 처치 정보를 실시간으로 의료정보 시스템 서버에 전송하여 일련의 데이터에 대한 신뢰성을 검사하고 이를 피드백하는 기능을 갖고 있다. Kim(2016)은 스마트응급실 상황에서 시스템 및 환자 속성을 동시에 고려한 진료테스크 우선순위 결정 알고리즘을 제시하였다.

기존 연구 분석결과 응급실 운영정책, 자원 용량 설계, 인적오류 요인 규명, 오류 최소화 교육프로그램 그리고 운영시스템 구축에 관한 내용이 주를 이루고 있다. 환자 및 보호자, 간호사, 의사, 진단 장비, 병상의 실제 운영규칙에 관한 연구는 많지가 않다. 본 연구는 주어진 자원으로 응급실을 운영함에 있어서 자원을 최적으로 활용하고, 의료진과 환자의 인적오류를 줄이고, 환자의 대기 및 진료의 예측가능성을 높이기 위한 응급실 프로세스 운영방안을 제안한다. 즉, 실시간데이터 기반 운영지수- 응급케어지수, 체류 단축지수, 대기 인내지수, 인적오류 유발지수- 를 새롭게 제안하고, 이를 기반으로 응급실 자원에 대한 활용규칙과 운영지수에 대한 모니터링 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에서는 본 연

구의 배경, 필요성, 목적, 기존연구에 대해서 살펴보고, 2장에서는 실시간데이터 기반의 응급실 운영지수 계산방법을 설명하고, 운영지수를 반영한 응급실 운영규칙을 언급하며, 3장에서는 제시된 운영규칙의 효과성을 검증하고, 마지막 4장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해서 살펴본다.

2. 실시간데이터 기반 응급실 운영

2.1 응급실 프로세스

응급실은 응급진료가 요구되는 환자를 담당하는 병원 안에 있는 또 하나의 작은 병원이다. 응급실 프로세스는 Fig. 1과 같다. 환자는 구급차로 이송되거나 직접 찾아오는 환자로 구성된다. 환자는 중증도를 응급환자 분류기준표(보건복지부, 2015)에 1~5등급으로 분류한 후 접수된다. 접수된 환자 중에서 경미한 5등급인 경우에는 병상이 필요 없는 경우가 대부분이라 진료실에서 간단한 응급진료 후에 퇴원한다. 1~4등급에 속하는 환자는 응급실 병상을 배정받은 후에 진료가 시작된다.

병상배정은 권역센터급, 지역센터급, 지역기관급 등의 응급실의 규모에 따라 운영형태가 상이하다. 규모가 클수록 중증도 등급별로 병상 구역을 설정하여 운영하고, 그 반대의 경우 병상 구역 구분이 명확하지 않은 편이다. 병상이 없는 경우 대기해야 하나 필요에 따라 임시병상을 활용하거나 대기 중에도 간단한 응급 진료가 시행되기도 한다. 병상을 배정받은 환자는 응급실 의료진으로부터 진료를 받게 된다. 진료 과정이 완료되면 응급실 퇴원 또는 병실 입원이 결정되며, 입원이 결정된 환자는 해당 부서의 병동으로 이동하고, 퇴원 또는 전원이 결정된 환자는 응급실을 떠나면서 응급실 프로세스가 종료된다.

응급실 의사는 응급실을 방문하는 모든 환자에 직접 또는 간접적으로 참여하여 진료계획을 수립하며 진단, 진료, 처방 등의 과업(task)을 수행한다. 다양한 경증 환자 진단 및 진료에 참여할 뿐만 아니라, 중증 환자를 조기에 진단하고, 긴급 처치를 수행하여 환자를 안정화시킨다. 협진이 요구되는 경우에는 병원 내 임상과 또는 전공과와의 협진을 통해 검사 및 검진을 시행한다. 응급실 간호사는 환자 병력 등 기초정보를 수집하고, 의사를 보조하며, 의사 처방과 관련된 다양한 진료 과업을 수행하고, 환자가 입원 또는 퇴원에 필요한 업무를 지원한다. 응급실 검사장비는 주로 X-ray 촬영, CT촬영, 그리고 임상병리 검사 장비로 이루어져 있으며 의사의 진료계획에 따라 검사가 이루어진다(심승배 외, 2009; 모창우 외, 2009).

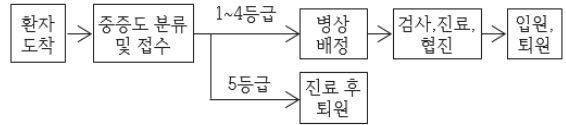


Fig. 1. Process of Emergency Room(ER)

2.2 실시간데이터 기반 운영지수

응급실 프로세스는 일반 제조프로세스 구조 중에서 복잡도가 높은 고객맞춤형의 개별작업 프로세스에 비유할 수 있다. 각 환자는 담당 의사가 작성한 개별 진료계획 즉 환자별 맞춤 진료프로세스를 거친다. 공정은 응급실이라는 단일 작업장(workstation)에서 진행되며 동시에 처리할 수 있는 인원은 응급실 병상 수 만큼이다. 병상을 할당받아야 프로세스가 진행되며 환자의 진료테스크를 수행할 경우 자원- 응급실 의사, 응급실 간호사, 검사장비, 협진 의사 그리고 입원실 병상- 이 요구된다. 환자 맞춤형 진료테스크 처리는 표준화된 단일공정에 비해 매우 복잡하다. 환자들은 서로 자신이 응급한 상태라 주장하면서 먼저 처리해줄길 원한다. 응급실은 중증응급환자 생존율을 높여야 하고, 자원 활용을 최적화해야 하며, 응급실 방문 환자 체류시간을 최소화해야 하고, 대기로 인한 환자 불만을 최소화해야 한다. 또한 인적 의료오류를 줄이려는 노력을 해야 한다.

본 연구에서는 제조프로세스 관리기법과 프로세스 혁신 방법론을 활용하여 응급실 상황을 실시간 반영하는 운영지수를 개발하고 이를 모니터링하여 응급실 변화에 맞추어 자원을 운영하는 규칙을 개발한다. 운영지수는 응급 케어지수, 체류 단축지수, 인적오류 유발지수, 대기 인내지수의 4 종류이다. 응급실 운영과 관련한 실시간데이터는 ICT기술에 의해 실시간 자동 획득되는 데이터, 진료관련 입력데이터, 경험적 직관과 지식에 의한 입력 자료, 수리적 계산 데이터 등의 제반 데이터를 의미한다. 각 지수는 기존 연구, 응급실 현장 관찰, 그리고 포커스 그룹(Focus Group)의 조언을 바탕으로 도출하였다.

2.2.1 응급 케어지수

기존에는 환자 중증도를 기준으로 진료순위를 배정하는데 응급실 내원환자는 본인이 위급한 환자라 인식하기 때문에 대기가 길어지는 것에 매우 민감하다. 이에 응급 케어지수를 도입한다. 응급케어지수는 진료의 긴급한 정도를 측정하는 것으로 환자 중증도와 지체시간 동시에 고려한다. 환자 중증도가 심각할수록, 진료테스크 요청 후 경과시간이 길수록 응급 케어지수 값을 높게 산정한

다. 의료기술 수준과 같은 통제하기 힘든 속성 데이터는 반영하지 않는다. 최초의 중증도는 환자 도착 후 분류 단계에서 결정된다. 진료가 진행되는 과정에 중증도가 낮아지거나 높아질 수 있으며, 중증도가 변경되면 즉시 수정한다. 가령 3등급으로 분류된 환자가 검사 결과 확인 후 1등급으로 전환되거나 또는 1등급인 환자가 진료 후 호전되어 3등급으로 바뀌는 경우가 발생한다. 환자가 응급실 자원을 사용할 때마다 응급 케어지수를 업데이트하여 자원할당 우선순위에 반영한다.

응급 케어지수는 다음과 같이 계산한다.

- i : 환자 인덱스(index), $i = 1, 2, \dots, I$
- j : 진료테스크 인덱스, $j = 1, 2, \dots, J$, j 는 진료계획 상에 환자에게 치료와 관련하여 행해지는 모든 과업(task)를 의미한다. 그 내용으로는 진단, 단순처치, 응급처치, 소생법, 구멍치료, 응급간호, 투약, 협진 등의 모든 것을 포괄한다.
- r : 응급실 자원, r 은 응급실 병상, 응급실 병상, 응급실 의사, 응급실 간호사, 임상병리 검사, X선 검사, CT/MRI 검사, 협진 의사, 수술장, 입원실 병상 중의 하나이다.
- r_j : 진료테스크 j 수행에 요구되는 자원 r
- $s_{i,t}$: 환자 i 의 시점 t 에서의 중증도,
 $s_{i,t} = 1, 2, \dots, 5$
- a_{i,r_j} : 환자 i 가 자원 r_j 를 요청한 시간(기 설정된 자동 경과시간 또는 간호사가 입력한 시간)
- t_{i,r_j} : 환자 i 가 자원 r_j 를 획득한 시간
- $\overline{at_{r_j}}$: 최근 자원 r_j 를 획득한 환자 30명의 평균 대기시간
- $CI_{i,r_j,t}$: 환자의 i 의 시점 t 에 자원 r_j 요청 시의 응급 케어지수, 현재까지 대기한 환자의 평균 대기시간에 비해 몇 배 더 기다렸는지와 중증도를 반영한다.
$$= \frac{(t - a_{i,r_j}) / \overline{at_{r_j}}}{s_{i,t}^2}$$
- $\overline{CI_{r,t}}$: 시점 t 에서 최근에 자원 r 을 획득한 환자 30명의 시점 t_{i,r_j} 에서의 응급 케어지수 평균
- $\sigma_{CI_{r,t}}$: 시점 t 에서 최근에 자원 r 을 획득한 환자 30명의 시점 t_{i,r_j} 에서의 응급 케어지수의 표준편차

$CI_{r,t,0.95}$: 응급 케어지수 관리 한계선, 자원 r 을 획득한 최근 환자 30에 대한 응급 케어지수의 95% 수준. 이 값을 벗어나는 것을 관리하기 위한 일종의 관리 한계선이다.

$$= \overline{CI_{r,t}} + 1.64 \sigma_{CI_{r,t}}$$

응급 케어지수 관리한계선이 필요하다. 환자별로 중증도와 진료프로세스가 다르고 응급실 운영 상황이 불확실하기 때문에 적절한 관리수준을 정할 수가 없다. 본 연구에서는 응급실의 실시간 운영상황을 반영하여 최근에 특정 자원을 이용한 30명의 환자를 비교 군으로 삼아 그들의 응급 케어지수의 95% 수준을 관리 목표치 또는 관리 한계선으로 설정하고, 이 관리 한계선을 넘는 환자에 대해서는 최우선 배정한다. 이는 제조현장에서 품질수준 관리 목표치를 95%로 설정하는 원리를 적용한 것이다. 관리 한계선은 운영관리자가 설정한다.

응급 케어지수 $CI_{i,r_j,t}$ 의 값이 클수록 자원 할당 우선순위에 높은 점수가 더해진다.

2.2.2 체류 단축지수

응급실 체류시간은 정부가 응급의료기관을 평가할 때 사용하는 핵심지표이다(임호근, 2016). 체류시간이 길어지면 중증환자의 진료가 지연되어 응급실 사망률이 높아지고, 감염병 확산으로 이어질 수 있기 때문이다. 환자의 체류시간은 응급실 병상, 응급의학 의사, 응급실 간호사, 검사장비, 협진 의사, 수술장, 입원실 병상 등의 자원용량과 밀접한 관계가 있다. 본 연구에서는 주어진 자원 내에서 프로세스 운영 최적화에 한정하여 다룬다. 환자의 체류시간은 환자의 진료계획과 자원 할당 방법에 따라 달라질 수 있다. 적극적인 환자/보호자와의 협동프로세스를 통해 체류시간을 줄일 수 있다. 환자의 과거 병력 또는 평상시의 증상 등을 상세히 파악하고 상호작용하는 가운데 신뢰감이 형성되어 환자의 심적 불안이 해소되고, 나아가 체류시간을 줄이는 진료계획도 찾을 수 있다(홍승권, 2011).

체류 단축지수는 환자의 체류시간을 단축하는데 기여하는 정도를 측정한다. 체류 단축지수는 환자/보호자와의 협동프로세스 운영을 통해 진료시간을 단축하는 정도와 병상을 빨리 비울 수 있는 가능성으로 계산된다. 이 지수는 응급실 과밀화가 높을 경우 체류시간 단축을 유도하는데 활용할 수도 있다.

다음과 같이 체류 단축지수를 계산한다.

k : 환자의 입원/퇴원 인덱스, 입원이면 $k=0$,

퇴원(타 병원 전원 포함)이면 $k=1$

$T_{i,t}$: 환자 i 의 시점 t 상의 진료테스크 집합, 치료/검사/관찰/약 처방 등의 진료 내용 및 순서

$p_{i,j}$: 환자 i 의 진료테스크 j 의 처리시간

$rr_{i,t}$: 환자 i 의 시점 t 상의 진료시간 단축비율

$$= \frac{(\sum_{j \in T_{i,0}} p_{i,j} - \sum_{j \in T_{i,t}} p_{i,j})}{\sum_{j \in T_{i,0}} p_{i,j}}$$

$j_{i,t}$: 환자 i 에 대해 t 시점에 처리해야 할 진료테스크

$FT_{i,t}$: 환자 i 에게 t 시점에 남아있는 총 진료시간

$$= \sum_{j \in j_{i,t}} p_{i,j}$$

$n_{\text{입원},t}$: 시점 t 에 입원실 병상을 기다리는 환자 수

$LL_{i,t}$: 환자의 i 의 현재 시간 t 시점에서의 체류 단축지수

$$= \begin{cases} \frac{\overline{FT}_t}{FT_{i,t}} \times rr_{i,t} \times \frac{1}{n_{\text{입원},t}} & k=0 \\ \frac{FT_t}{FT_{i,t}} \times rr_{i,t} & k=1 \end{cases}$$

\overline{FT}_t : 시점 t 에서 최근에 입/퇴원한 환자 30명의 총 진료시간의 평균(대기시간 제외)

체류 단축지수 값이 클수록 우선순위에 높은 점수가 더해진다. 퇴원 또는 전원을 하는 환자의 경우 진료 완료 후에 병상을 바로 비울 수 있기에 체류 단축지수 값이 크다. 입원하는 환자의 경우 입원실이 비어야 병상을 비울 수 있기 때문에 입원 대기자가 적을수록 지수의 값이 크다. 한편 중증도가 상대적으로 낮은 환자의 경우 환자/보호자와의 협동프로세스를 통해 진료단계를 단축시킬 수 있다. 이런 경우 지수 값이 크게 되어 진료 우선순위에 높은 점수가 더해진다.

2.2.3 인적오류 유발지수

인적오류는 환자/보호자와 의료진 모두에게 매우 민감한 사안이다. 인적오류는 의료진의 진료행위와 관련한 다양한 직간접적 요인에 의해 발생하는 의료오류를 의미한다. 인적오류는 인지하지 못하는 경우도 있지만 생명이 위험하거나 법적 다툼으로 이어지기도 한다. 본 연구에서는 인적오류를 최소화하기 위한 노력의 일환으로 응급의료진의 인적오류 유발지수를 관리한다.

응급실 인적오류와 관련한 기존 연구를 조사하였다. 응급실은 인적 의료오류에 특히 취약한 곳이다. 경영상의 문제로 임상경험이 적은 의사에다 부족한 수의 의료진을

운영하고 있다. 응급실 의료진은 수면주기가 지켜지지 않는 피곤한 상황에서 시간에 쫓기면서 근무한다. 밀려드는 환자에 피곤에 지친 의료진은 환자의 상태를 정확히 파악하고 진료하는 것이 어렵다. 응급실에는 다양한 중증도를 가진 여러 환자가 동시에 진료를 받고 있으며 환자로부터 얻을 수 있는 병력이나 진단정보가 크게 제한되어 있는 상황에서 여러 가지를 동시에 결정해야 하는 경우가 많다(안기옥 외, 2007). 응급실 간호사는 역할이 명확하지 않으면서 책임이 커서 직무 만족도가 떨어지고(최성인 외, 2014), 응급실 의료진은 소진(Burn-out)을 경험하고 있으며 소진이 증가할수록 업무수행 능력이 감소된다(김정희 외, 2010). 간호사의 육체적·정신적 소진이 심해짐에 따라 간호의 본질인 따뜻함, 배려, 존중 등은 부족해진다. 환자는 개별적인 정서적 지지를 받을 수 없을 뿐만 아니라 불안감이 더욱 증폭될 수 있다(김혜옥 외, 2013).

인적오류는 다양한 요인에 의해 발생하며 그 심각성도 다르다. 강민옥 외(2010)의 연구에서는 의료오류 발생의 기여 인자로 의사소통 요인, 교육적 요인, 장비 또는 자원 요인, 시스템적 요인, 환자 요인, 업무요인, 환경적 요인으로 분류하였다. 안기옥 외(2007)의 응급실 의료오류 분석에서는 오전 6시부터 오전 9시 사이에 오류가 가장 많이 발생하고, 비교적 높은 발생빈도를 가지며 발생 시 심각한 결과를 초래하는 의료오류의 종류는 방입, 불충분한 병력청취 및 신체검진, 각종 검사결과와 해석오류였다. 의료오류 기여 인자는 주로 근무환경과 교육 관련 인자가 많으며, 의료사고 발생을 감소하기 위해 활발한 오류보고와 오류로부터 배우고자 하는 조직 학습을 체계화하는 것이 필요하다(안기옥 외, 2007; 김효선, 2016). 의료과정에서 환자가 적극적으로 참여하는 것이 서비스의 질을 향상시킬 수 있다. 정확한 진료를 하는데 환자의 역할이 중요하며, 약물치료 및 투약에 대한 결정 과정에도 환자의 적극적인 참여는 의료 서비스 제공자 실수도 줄일 수 있다(홍승권, 2011). Thomas et al. (2004)는 의료오류 중 1급 오류는 1.8%, 2급은 30.7%, 3급은 37.0%, 4급은 23.9%, 5급은 6.5%를 차지한다고 분석하였고, 김복자 외(2006)는 응급실 간호사 업무의 빈도, 긴급도, 지각된 자가 능력, 중요지수를 분석하여 응급실 간호업무의 표준 기초자료를 제시하였다.

인적오류 차단을 위한 자동화/지능화 솔루션이 도입되고 있다. 진료내용을 사전에 자동으로 오류를 체크하는 시스템을 도입하고 응급실의 다양한 경험적 직관을 DB화할 필요가 있다. 최근 RFID 및 바코드를 활용하여 환

자의 처치 및 투약, 각종 업무를 안전하게 수행할 수 있도록 하는 솔루션이 국내 여러 대형병원에 도입되고 있다(네오젠소프트 neoPOCS, 2013). 주경연(2016)은 응급실 경력간호사의 면담을 통해 오류가능성 여부 인지에 대한 경험적 직관이 활용되고 있음을 확인하였다. 이러한 경험적 직관을 DB화하여 진료실행 과정에서 오류방지 가이드로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 인적오류 유발지수를 인적오류 유발 가능성과 인적오류 유발 심각성을 고려하여 측정한다. 유발 가능성은 환자 요인(의료진과 환자/보호자와의 병력 의사소통, 수준환자의 정신적 상태), 인적오류 차단 솔루션 요인, 응급실 환경 요인(과다하게 많은 환자, 응급실의 긴장된 분위기 등), 의료진 요인(정신적 상태, 경력/교육/실적 등에 의한 실력 등급, 업무강도, 누적 근무시간, 근무시간대)을 반영한다. 그리고 인적오류 유발 심각성은 환자의 중증도 요인, 진료테스크의 중요도 요인을 반영한다.

인적오류 유발지수는 다음과 같이 계산한다.

- l : 의료진 인덱스, $l = 1, 2, \dots, L$
- w_j : 진료테스크 j 의 중요도, $w_j = [0, 1]$
- $CS_{i,j}$: 환자 i 의 진료테스크 j 에 인적오류가 생길 경우 그 심각성 정도
 $= (0.2s_{i,t} + w_j)/2$, $0.2s_{i,t}$ 는 $s_{i,t} = 1, 2, \dots, 5$ 의 값에 따른 심각성을 $[0, 1]$ 사이의 값으로 환산하기 위한
- c_i : 환자 i 에 대한 병력 의사소통 정도,
 $c_i = [0, 1]$
- $e_{i,t}$: 환자 i 또는 그 보호자가 시점 t 에 진료에 대해 느끼는 호의적 심리 정도, $e_{i,t} = [0, 1]$
- $CF_{i,t}$: 시점 t 에 환자 i 에 의한 인적오류 유발가능 정도
 $= (c_i + e_{i,t})/2$
- SF_j : 진료테스크 j 에 대한 인적오류 차단 솔루션 수준의 등급, $SF_j = 1, 2, \dots, 5$, ICT기술 기반의 자동화된 인적오류 차단 시스템 도입되어 있으면 $SF_j = 1$, 의료진이 직접 상황을 확인하여 판단하는 경우는 $SF_j = 5$
- o_t : 시점 t 에 응급실의 혼잡도
 $= \frac{\text{시점 } t \text{에 응급실 내에 있는 환자 수}}{\text{응급실 수용 인원}}$
- m_t : 시점 t 에 응급실의 긴장도, $m_t = [0, 1]$, 중증환자 집중 발생, 난동/소란 발생 등의 긴장

- 분위기이면 $m_t = 1$, 비교적 경증환자 위주의 차분한 진료 분위기이면 $m_t = 0$
- EF_t : 응급실 환경으로 인한 인적오류 유발가능 정도
 $= (o_t + m_t)/2$
- $b_{l,t}$: 시점 t 에 의료진의 정신적 소진(Burn-out) 정도, $b_{l,t} = [0, 1]$
- g_l : 의료진 l 의 경력/교육/실적 등에 의한 실력 등급, $g_l = 1, 2, \dots, 5$
- $x_{l,t}$: 의료진 l 이 시점 t 에 겪는 업무 강도,
 $x_{l,t} = [0, 1]$
- t_t : 시점 t 의 근무시간 대, 새벽 6시~오전 9시이면 $t_t = 1$, 그 외 시간이면 $t_t = 0$
- $ct_{l,t}$: 의료진 l 이 시점 t 까지 연속 근무한 정도
 $= \frac{\text{시점 } t \text{까지의 누적 근무시간(분)}}{480 \text{분}}$
- $PF_{l,t}$: 의료진 l 에게 시점 t 에 부여되는 인적오류 유발가능 정도
 $= (b_{l,t} + 0.2g_l + x_{l,t} + t_t + ct_{l,t})/5$
- $DI_{i,j,l,t}$: 시점 t 에 환자 i 의 진료테스크 j 에 의료진 l 이 진료할 경우의 인적오류 유발지수
 $= \{(CF_{i,t} + SF_j + EF_t + PF_{l,t})/4\} \times CS_{i,j}$
- \overline{DI}_t : 시점 t 에서 최근 환자 30명에게 실행한 진료테스크에서의 인적오류 유발지수의 평균
- σ_{DI_t} : 시점 t 에서 최근 환자 30명에게 실행한 진료테스크에서의 인적오류 유발지수의 표준편차
- $DI_{t,0.95}$: 인적오류 유발지수 관리 한계선, 최근 진료테스크 30개에 관한 인적오류 유발지수의 95% 수준. 이는 제조현장에서 품질수준 관리 목표치를 95%로 설정하는 원리를 적용한 것이다. 이 값을 벗어나는 것을 관리하기 위한 일종의 관리 한계선이다.
 $= \overline{DI}_t + 1.64 \sigma_{DI_t}$

정성적인 값은 운영관리자, 책임간호사, 담당의사가 상황에 따라 주관적으로 부여한다.

제시한 인적오류 유발지수는 기존 연구에서 규명한 인적오류 유발 요인들을 수치화하고 이를 하나의 지수로 통합한 것으로 인적오류 유발지수 $DI_{i,j,l,t}$ 의 값이 클수록 인적오류 위험이 높다. 지수 값이 1에 가까울수록 집중

관리가 요구된다. 인적오류는 다양한 구조적 요인에 의해 발생하며 운영상에서 인적오류를 줄이는 데는 한계가 있다. 제시한 인적오류 유발지수 값을 실시간 모니터링하고, 값에 따라 적절한 운영 조치가 필요하다. 본 연구에서는 최근의 진료테스크 30개에 관한 인적오류 유발지수의 95% 수준을 관리 한계선으로 설정하고, 이 값을 벗어나는 경우에는 해당 의사 또는 간호사를 할당하지 않는 것으로 설정한다.

2.2.4 대기 정보 및 대기 인내지수

환자의 긴 대기시간은 불평/불만 제기, 난동 등으로 이어져 서비스가 지연되거나 의료진의 소진(Burn-out)을 야기하여 인적오류 발생 및 서비스 질 저하를 초래한다. 이를 미연에 방지하기 위해 환자의 대기를 관리하는 방안이 필요하다. 응급실에 환자가 도착하면 접수와 함께 상태 초진, 중증도 분류, X-ray 촬영, CT촬영, 임상병리 검사 등 추가 검사를 거쳐 최종 진단과 치료가 이뤄진다. 이 모든 진료 과정이 매끄럽게 연결된다면 좋겠지만, 긴박하게 돌아가는 응급실에서는 과정 중간 중간에 피할 수 없는 긴 대기시간이 발생하기 일쑤다. 일반적으로 응급실의 진료는 선착순이 아니라 생명이 위태로운 순서를 우선으로 한다. 그런데 환자마다 자신의 상태가 가장 심각하고 위급하다고 느끼기 때문에 오해가 발생한다. 의료진이 판단하기에 당장 처치를 요하지 않는 상태라면, 우선순위에 밀려나 실제 치료를 받기까지 대기해야 하는 시간이 길어진다는 뜻이다. 이제 환자는 자신의 상태를 정확하게 모른 채 계속 아픈 상태로 치료를 기다릴 수밖에 없다. 이 과정에서 환자는 의료진이 자신에게 별로 관심이 없다는 느낌을 받게 된다. 그러다 보면 자신의 치료가 이유 없이 지연되고 있다는 생각에 화가 나게 되고, 결국 극단적으로 분노를 표출하는 사태가 벌어지기도 한다(DesignCouncil Corporation, 2014; 네이버캐스트, 2015). 실시간 제공되는 예상 대기시간 및 응급실 상황정보는 환자 본인이 전원을 고려하는 중요한 계기가 되고 이는 응급실 체류시간 단축에 영향을 미친다.

본 연구에서는 환자가 자신의 진료에 대해 예측할 수 있도록 다양한 진료상황 정보를 제공하고, 각 환자의 대기 인내지수를 관리하여 무작정 기다림에 대한 불안을 해소하여 환자로 인한 응급실 진료 방해를 최소화하고자 한다. 대기 정보 및 대기 인내지수는 다음과 같이 계산한다.

① 대기 정보

환자/보호자가 진료에 대해 어느 정도 예측할 수 있고,

간호사는 대기 상황에 대해 정확한 설명을 제공할 수 있도록 한다. 스마트폰 애플리케이션(application)에서 실시간 진료가능 예상시간을 공지하여 비응급환자의 전원을 유도하고, 응급실 상황정보 및 본인 진료 예상시간 등을 통해 기다림에 대한 포용력을 갖도록 한다. 대기는 응급실 자원을 기다리는 상황에서 발생하며, 응급실 병상, 응급학 의사, 응급실 간호사, 검사장비, 협진 의사, 입원실 병상 등의 대기가 있다.

불확실성이 높은 응급실 운영 상황에서 정확한 대기시간을 예측하기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 최근 30명의 환자가 경험한 실적 데이터와 현 대기자의 수를 활용한 다. 환자의 대기시간 예측치는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \overline{tq_{r,t}} &: \text{시점 } t \text{에서 최근 30명의 환자가 자원 } r \text{을} \\ &\quad \text{기다린 시간의 평균} \\ \sigma_{r,t} &: \text{시점 } t \text{에서 최근 30명의 환자가 자원 } r \text{을} \\ &\quad \text{기다린 시간의 표준편차} \\ \overline{n_{r,t}} &: \text{시점 } t \text{에서 최근 30명의 환자가 자원 } r \text{을} \\ &\quad \text{요청할 때에 기다리고 있는 환자 수의 평균} \\ n_{r,t} &: \text{시점 } t \text{에 자원 } r \text{을 기다리고 있는 환자 수} \\ R_{i,r,t} &: \text{환자 } i \text{의 시점 } t \text{ 이후에 요구되는 자원 } r \text{의} \\ &\quad \text{리스트} \\ CT_{i,t} &: \text{환자 } i \text{의 시점 } t \text{에서 앞으로 예상되는 총} \\ &\quad \text{진료 완료시간} \\ &= (\text{총 자원 } r \text{ 대기시간}) + (\text{총 진료시간}) \\ &= \sum_{r \in R_{i,r,t}} \overline{tq_{r,t}} + FT_{i,t} \\ rt_{i,r,t} &: \text{환자 } i \text{가 시점 } t \text{에 자원 } r \text{을 기다리는 시간} \\ &= \overline{tq_{r,t}} \times \left(\frac{n_{r,t}}{n_{r,t}} \right) \\ tq_{i,r,t,0.95} &: \text{환자 } i \text{가 시점 } t \text{에 신뢰수준 95\% 하에서} \\ &\quad \text{자원 } r \text{을 기다리는 시간, 가령 } tq_{i,협진,t,0.95} \\ &\quad \text{의 값이 30분이라면 이는 협진 의사가 30분} \\ &\quad \text{내에 도착할 확률이 95\% 라는 의미이다.} \\ &= \overline{tq_{r,t}} \times \left(\frac{n_{r,t}}{n_{r,t}} \right) + 1.64\sigma_{r,t} \times \sqrt{\frac{n_{r,t}}{n_{r,t}}} \end{aligned}$$

대기시간 예측의 정확도를 확보하는 것이 관건이다. 본 연구에서는 응급실의 실시간 상황을 반영하여 최근 특정 자원을 이용한 30명을 비교 군으로 하여 그들의 대기시간 평균과 표준편차, 현재 대기하고 있는 환자의 수로 계산하였다. 진료시간과 대기시간 등에 대한 예측 정확성을 높이기 위해서는 환자/보호자-의사-간호사 간 협동 프로세스를 통하여 진료계획을 정교하게 관리해야 한

다. 보다 정확하게 예측하는 방법에 대한 추가 연구가 필요하다.

② 대기 인내지수

대기 인내지수는 환자가 대기함에 있어서 참을 수 있는 정도를 나타낸다. 대기는 응급실 자원을 기다리는 상황에서 발생한다. 대기 인내지수에 반영하는 속성 데이터는 환자/보호자 심리상태, 대기횟수, 대기시간, 불평/불만 제기 횟수, 대기과 관련된 정보 제공 수준 등이다. 환자/보호자의 진료에 대한 호의도와 대기정보 제공 수준이 높을수록 인내지수는 높다. 그리고 대기 횟수, 총 대기시간 및 불평/불만 제기 횟수가 높을수록 인내지수는 낮다. 대기 인내지수 값이 작을수록 응급실의 다른 환자 진료에 지장을 초래할 가능성이 높은 것으로 판단하여 우선 순위에는 상대적으로 높은 점수를 부여한다.

다음과 같이 대기 인내지수를 계산한다.

- $nq_{i,t}$: 환자 i 가 시점 t 에서 경험한 대기 횟수
- $cq_{i,t}$: 환자 i 가 시점 t 에서 경험한 총 대기 시간
- $rq_{i,t}$: 환자 i 가 시점 t 까지 불평/불만 제기 횟수
- $lq_{i,t}$: 환자 i 가 시점 t 에서 느끼는 대기정보 제공 수준, $lq_{i,t} = [0.1, 1]$, 전광판, 스마트폰 앱, 간호사 설명 등으로 상황파악이 충분하면 $lq_{i,t} = 1$, 아무런 정보 없이 무작정 기다린다고 느끼면 $lq_{i,t} = 0.1$. 지수 계산식의 문제로 0의 값은 부여하지 않는다.
- \bar{e}_t : 시점 t 에서 최근 30명의 입/퇴원 환자와 보호자가 진료에 대해 느끼는 호의적 심리 정도의 평균
- \overline{nq}_t : 시점 t 에서 최근 30명의 입/퇴원 환자가 경험한 대기 횟수 평균
- \overline{cq}_t : 시점 t 에서 최근 30명의 입/퇴원 환자가 경험한 총 대기 시간 평균
- \overline{rq}_t : 시점 t 까지 최근 30명의 입/퇴원 환자가 불평/불만을 제기한 횟수 평균
- \overline{lq}_t : 시점 t 에서 최근 30명의 입/퇴원 환자가 느끼는 대기과 관련된 정보 제공 수준 평균
- $RI_{i,t}$: 환자 i 가 시점 t 에서 느끼는 대기 인내지수

$$= \left\{ \left(\frac{e_{i,t}}{\bar{e}_t} \right) + \left(\frac{nq_{i,t}}{\overline{nq}_t} \right) + \left(\frac{cq_{i,t}}{\overline{cq}_t} \right) + \left(\frac{rq_{i,t}}{\overline{rq}_t} \right) + \left(\frac{lq_{i,t}}{\overline{lq}_t} \right) \right\} \times \left(\frac{1}{5} \right)$$
- \overline{RI}_t : 시점 t 에서 최근 입/퇴원 환자 30명의 대기 인내지수의 평균

σ_{RI_t} : 시점 t 에서 최근 입/퇴원 환자 30명의 대기 인내지수의 표준편차

$RI_{t,0.05}$: 대기 인내지수 관리 한계선, 시점 t 에서 최근 입/퇴원 환자 30의 대기 인내지수 하위 5% 수준이 값을 벗어나는 것을 관리하기 위한 일종의 관리 한계선이다.

$$= \overline{RI}_t - 1.64 \sigma_{RI_t}$$

대기 인내지수의 값이 작을수록 관리 우선순위가 높다. 응급실의 높은 불확실성으로 적정 대기 인내지수를 정할 수가 없다. 본 연구에서 최근 30명의 환자를 비교군으로 삼아 그들의 대기 인내지수의 하위 5% 수준을 관리 한계선으로 설정한다. 대기 인내지수 관리 한계선 이하인 환자에 대해서는 상황을 설명하고 설득하거나 우선 배정 등의 조치를 한다.

2.3 운영지수 기반 응급실 운영규칙

응급실 프로세스는 응급환자가 응급실 병상, 응급학 의사, 응급실 간호사, 검사장비, 협진 의사, 수술장, 입원실 병상 등의 자원을 활용하는 과정을 의미한다. 앞에서 제시한 실시간 데이터와 운영지수-응급 케어지수, 체류 시간 단축지수, 대기 인내지수, 인적오류 유발지수-를 바탕으로 응급실 자원 운영과 운영지수 모니터링에 관한 규칙을 다음과 같이 제안한다.

2.3.1 응급실 대기정보 제공

앞에서 제시한 대기정보 계산 값을 바탕으로 각 자원에 대해 예측되는 대기시간을 환자/보호자에게 실시간으로 제공한다. 병상 대기과 관련하여 시점 t 에 응급실 병상 기다리고 있는 환자 수인 실시간 데이터 $n_{\text{병상},t}$ 값을 제공한다. 환자 i 가 시점 t 에 응급실 병상을 기다리는 평균시간인 실시간 데이터 $rt_{i,\text{병상},t}$ 값을 제공한다. 환자 i 가 시점 t 에 신뢰 수준 95% 하에서 응급실 병상을 기다리는 시간인 $tq_{i,\text{병상},t,0.95}$ 값을 제공한다. $tq_{i,\text{병상},t,0.95}$ 의 값이 30분이라면 환자 i 에게 시점 t 기준으로 응급실 병상이 30분 내에 배정될 확률이 95% 라는 의미이다. 그 외 의사, 간호사, 각종 검사, 협진, 입원실 자원에 대한 실시간 대기시간데이터 $n_{r,t}, rt_{i,r,t}, tq_{i,r,t,0.95}$ 값을 제공한다.

2.3.2 응급실 병상 배정

생명이 위독한 경우 등 대기시켜서는 안 되는 중증환자는 도착 즉시 병상을 배정하고, 수용이 불가능하면 즉

시 전원 조치한다. 그 외의 환자는 응급 케어지수를 기준으로 배정하며 그 절차는 Fig. 2와 같다. 병상 할당 시에 대기 중인 환자별로 응급 케어지수를 계산하여 지수 값이 가장 큰 환자에게 병상을 할당한다. 대기 순으로 지수를 계산하면서 관리 한계선 $CI_{병상,t,0.95}$ 의 값보다 크면 즉시 그 환자에게 할당한다. 현장에서 대기번호 5번 이후만 조정하는 정책을 운영하다면 대기 번호 5번을 기준으로 할당 규칙을 적용한다. 병상 배정기준을 정확히 인지시켜 배정에 대한 시비를 최소화한다.

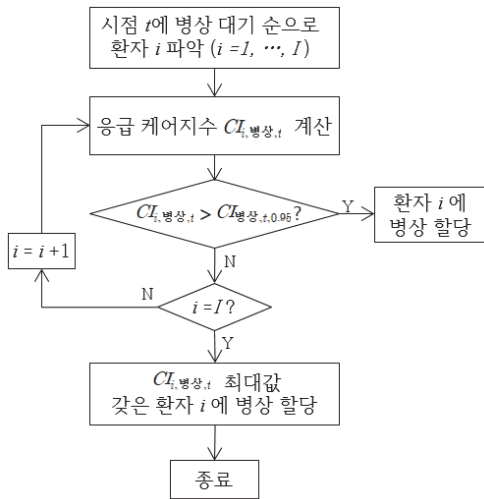


Fig. 2. Allocation rule of ER bed

2.3.3 의사와 간호사 진료테스크 배정

병상에 도착한 환자 중에서 생명이 위독하여 대기시켜서는 안 되는 중증환자는 도착 즉시 응급실 의사와 간호사가 배정된다. 그 외 환자는 담당 의사와 담당 간호사를 기다린다. 담당의사는 환자의 증상, 담당 환자 수를 고려하여 응급실 책임의사가 배정하고, 담당 간호사는 수간호사가 배정한다. 담당 의사에 의해 진료계획이 세워지고 진료계획상의 진료테스크를 모두 수행하면 진료가 완료된다. 환자는 각 진료테스크가 진행되는 동안 의사 또는 간호사를 요청하고, 의사와 간호사는 자신을 기다리는 환자 중에서 어느 환자를 먼저 진료할 지를 결정한다. 두 가지의 배정에 관한 결정 상황이 발생한다. 하나는 특정 환자가 담당 의사 또는 담당 간호사를 요청하였는데 다른 환자를 진료하고 있는 경우, 담당이 아니라도 가용한 의사 또는 간호사 중에서 누구를 투입할 것인가를 결정하는 상황이다. 또 하나는 특정 의사 또는 간호사가 진료를 마치고 대기 중인 환자 중에서 어느 환자를 먼저 진료

해야할 지를 결정하는 상황이다. 각 상황별 할당 규칙은 다음과 같다.

특정 환자가 간호사를 요청하는 경우 Fig. 3과 같은 규칙을 따른다. 담당 간호사가 처리할 수 있는 상황이면 담당 간호사를 할당하고, 담당 간호사가 다른 진료테스크를 수행하고 있으면 다른 가능 간호사 중에서 해당 진료테스크 수행 시의 인적 오류지수가 가장 작은 간호사를 할당한다. 간호사가 없으면 환자는 대기한다. 인적 오류지수가 관리 한계값 $DI_{t,0.95}$ 를 초과하는 간호사는 할당하지 않는다. 특정 환자가 i 가 진료테스크 j 를 위해 응급실 의사를 요청하는 경우 Fig. 4에서 간호사 대신 의사를 대신한 후 같은 흐름을 적용한다.

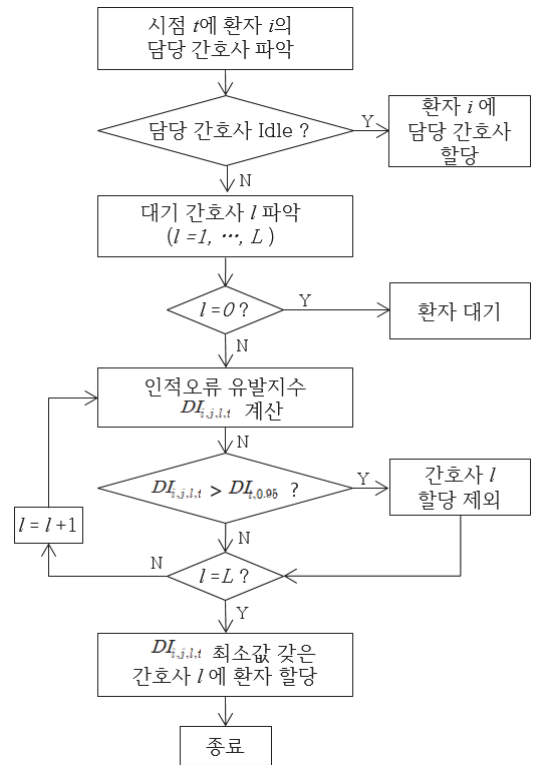


Fig. 3. Allocation rule of nurse

의사가 여러 환자의 진료테스크 중에서 하나를 선정해야 하는 경우 Fig. 4와 같은 규칙을 따른다. 응급 케어지수, 대기 인내지수, 인적오류 유발지수의 관리 한계를 벗어나는 경우에는 즉각 대응하고, 그 이외에는 응급 케어지수와 체류 단축지수를 함께 고려하는 응급/단축 통합지수 $UI_{의사,t}$ 의 값에 따라 우선순위를 매긴다.

$$\text{단, } U_{i,\text{의사},t} = \frac{CI_{i,\text{의사},t}}{CI_{\text{의사},t}} + LI_{i,t}$$

진료테크스 선정 시점에 의사 대기 순으로 환자별 응급 케어지수, 대기 인내지수, 인적오류 유발지수, 응급/단축 통합지수를 계산한다. 우선 3개 지수에 대한 관리 한계선을 체크한다. 응급 케어지수가 관리 한계선 $CI_{\text{의사},t,0.95}$ 의 값을 벗어나거나, 대기 인내지수가 관리 한계선 $RI_{t,0.05}$ 의 값을 벗어나면 그 환자에게 해당 의사를 할당한다. 또한 인적오류 유발지수가 관리 한계선 $DI_{t,0.95}$ 의 값을 벗어나면 그 환자에게는 해당 의사를 할당하지 않는다. 관리 한계선 체크에서 진료테크스가 선정되지 않으면 응급/단축 통합지수의 값이 가장 큰 환자에게 해당 의사를 할당한다.

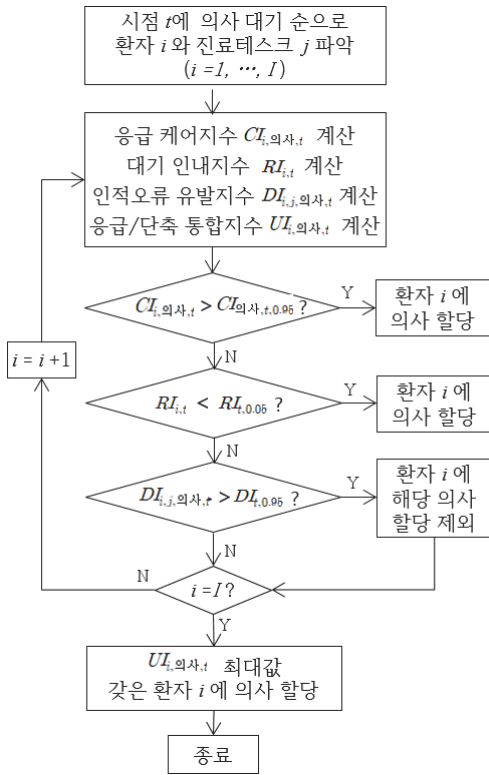


Fig. 4. Allocation rule of ER doctor

간호사가 진료테크스를 선정하는 경우에는 Fig. 4에서 의사를 간호사로 대체한 후 해당 값을 계산한 후 같은 흐름을 적용한다.

$$\text{단, } U_{i,\text{간호사},t} = \frac{CI_{i,\text{간호사},t}}{CI_{\text{간호사},t}} + LI_{i,t}$$

2.3.4 검사장비 배정

응급실의 대표적 검사는 임상병리 검사, X선 검사, CT 혹은 MRI 검사이다. 병상에 도착한 환자 중에서 생명이 위독하여 대기를 시켜서는 안 되는 중증환자는 검사 장비에 도착하는 순간 바로 검사가 이루어진다. 그 외의 환자는 검사를 기다리게 되며 검사 종류에 따라 기다리는 상황이 다르다. Fig. 5는 CT 검사를 위한 우선순위 결정 규칙이다. 환자 선정 시점에 CT장비 대기 순으로 환자별 응급 케어지수, 대기 인내지수, 응급/단축 통합지수를 계산한다. 우선 2개 지수에 대한 관리 한계선을 체크한다. 응급 케어지수가 관리 한계선 $CI_{CT,t,0.95}$ 의 값을 벗어나거나, 대기 인내지수가 관리 한계선 $RI_{t,0.05}$ 의 값을 벗어나면 그 환자에게 우선 배정한다. 관리 한계선 체크에서 환자가 선정되지 않으면 응급/단축 통합지수의 값이 가장 큰 환자에게 CT장비를 배정한다. 현장에서 대기번호 5번 이후만 조정가능하다는 CT장비 운영정책을 적용할 경우 대기 번호 5번을 기준으로 우선순위 결정 규칙을 적용한다.

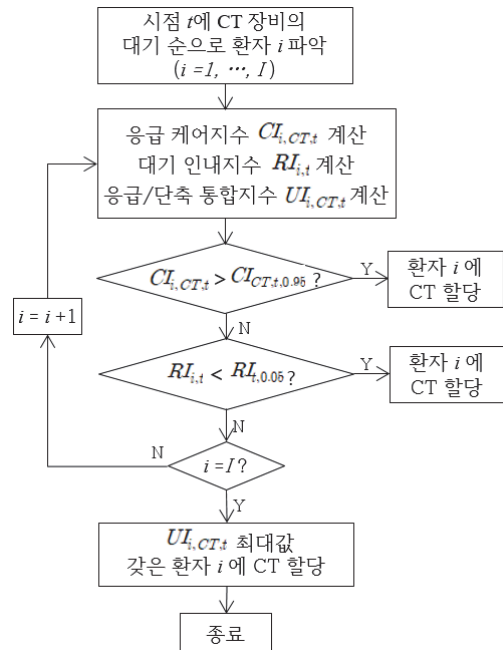


Fig. 5. Allocation rule of CT scanner

임상병리 검사, X선 검사 등에서의 우선순위 결정 규칙은 Fig. 5에서 CT 대신 임상병리 또는 X선으로 대체한 후 같은 흐름을 적용한다.

2.3.5 운영지수 모니터링

응급 케어지수, 인적오류 유발지수, 대기 인내지수, 체류 단축지수를 주기적 또는 수시로 모니터링하여 관리가 필요한 경우 경고를 주어 필요한 조치를 취하게 한다. 응급 케어지수의 경우는 Fig. 6과 같이 모니터링 주기 또는 대기 현상이 심한 경우에 해당 자원별로 대기 환자 전원에 대해 응급 케어지수를 계산하여 관리 한계선을 초과한 환자 수의 비율이 10% 이상이면 시스템적 조치가 필요하다는 알람을 띄운다.

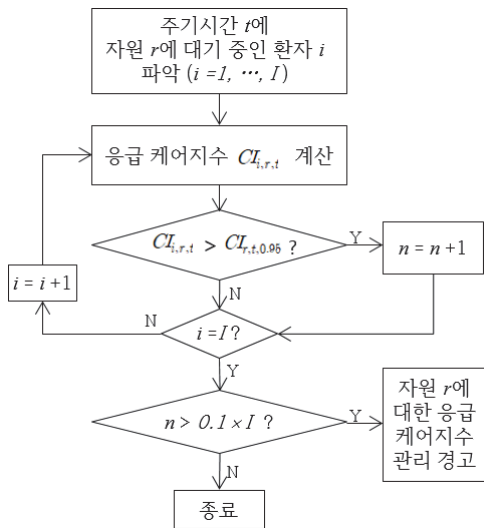


Fig. 6. Monitoring rule of the Emergency care index

인적오류 유발지수 모니터링의 경우는 Fig. 7과 같이 모니터링 주기에 응급실 간호사와 의사에 대해 최근 수

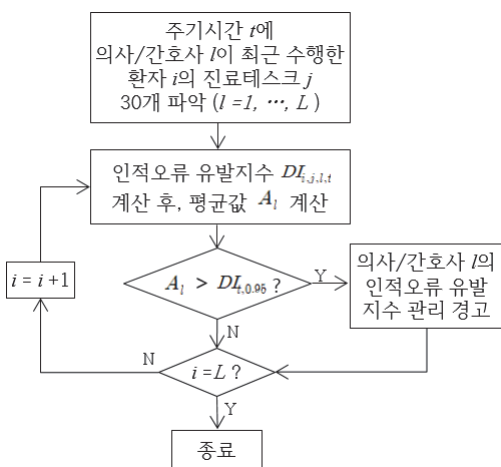


Fig. 7. Monitoring Rule of the Human error inducing index

행한 진료테스크 30개에 대한 응급 케어지수 평균값이 관리 한계선을 초과한 간호사 또는 의사에게 시스템적 조치가 필요하다는 알람을 띄운다.

대기 인내지수 모니터링의 경우에는 Fig. 8과 같이 관리 한계선을 초과한 환자에 대해 주기적으로 알람을 띄워서 시스템적으로 대응하도록 한다. 대기 인내지수는 환자의 심리상태와 자신의 진료에 대한 예상정보의 수준에 기인하는 경우가 많으므로 알람이 뜬 환자에 대해 의사 소통에 더욱 신경을 쓸 필요가 있다.

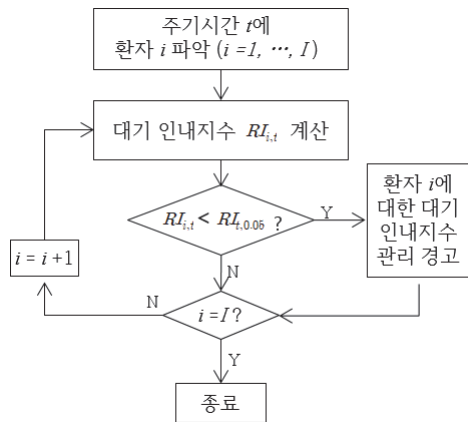


Fig. 8. Monitoring rule of the Waiting patience index

체류 단축지수 모니터링의 경우는 Fig. 9와 같은 흐름으로 관리한다. 환자/보호자, 간호사/의사 협동 프로세스에 따라 수시로 체류시간 단축 방안을 모색한다. 즉 환자 및 보호자가 들려주는 상세한 과거 병력, 환자의 예후, 간

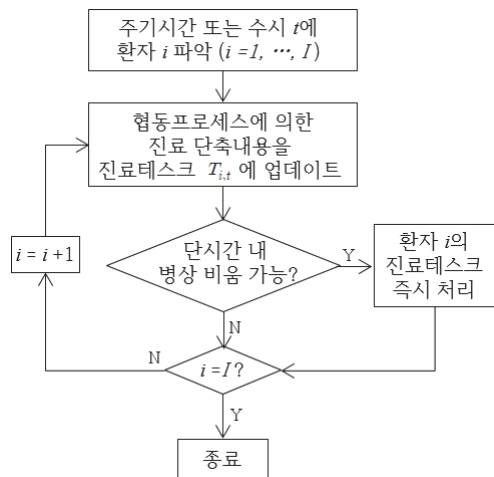


Fig. 9. Monitoring rule of the Short stay index

호사의 관찰 및 경험, 그리고 의사가 의뢰지식과 경험을 바탕으로 진료를 최소화하는 방안을 찾고 의사소통한다. 또한 응급실 병상의 부족은 체류시간이 증가하는 요인으로 작용하므로 병상을 단시간 내에 비울 수 있는 환자에 대해 진료 우선순위를 높인다.

3. 시뮬레이션을 활용한 효과성 검증

본 연구에서 제시한 실시간데이터 기반 응급실 운영 규칙에 대한 효과성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 실제 운영되고 있는 응급실에 제시한 운영 규칙을 적용하기에는 현실적으로 어려움이 많아 가상의 응급실을 대상으로 시뮬레이션 실험을 실시하였다. Fig. 10은 본 연구의 목적에 맞게 응급실 규모와 프로세스를 축소한 가상 응급실의 레이아웃이다. 의사와 간호사는 통합하여 하나의 의사/간호사 자원으로, 다양한 검사는 묶어서 하나의 검사장비로, 협진 의사와 입원실 병상은 묶어서 하나의 협진 의사/입원실 자원으로 단순화하였다.

환자가 도착하면 중증도 분류를 거쳐 병상이 할당된다. 병상의 환자는 의사의 진료계획에 의해 몇 개의 진료 테스크 단계를 거친다. 환자는 의사/간호사, 검사장비, 협진 의사/입원실 자원을 요청하며, 환자별로 각 자원을 요청하는 횟수는 다르다. 의사/간호사로부터 특정 진료를 받은 환자는 다음 진료테스크까지 회복시간을 갖고, 검사를 받은 환자는 검사결과가 나올 때까지 병상에서 대기

한다. 의사/간호사는 수시로 환자의 상태를 관찰하고 진료한다. 그리고 입원이 요구되는 환자는 협진 의사/입원실 대기시간의 경과가 요구된다. 모든 진료테스크를 마친 환자는 일반 병동의 입원실에 입원하거나 퇴원한다.

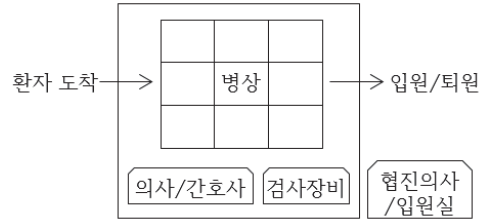


Fig. 10. Layout of a simplified virtual ER

시뮬레이션 전용 언어인 ARENA로 모델링하고 실험을 수행하였다. 제시한 운영규칙의 전 모듈을 시뮬레이션 모델에 반영하기에는 지나치게 복잡하여 효과검증에 사용된 평가지표와 관련한 내용을 위주로 하여 Fig. 11과 같이 ARENA 모델을 작성하였다. 제시된 운영지수는 병상배정, 의사 및 간호사 할당, 의료장비 할당 시점에 적용된다.

시뮬레이션에 필요한 주요 입력 데이터는 Fig. 12와 같이 설정하였다. 이 데이터는 2015년도 응급의료기관 평가결과 자료, 2015년 대한응급학회와 복건복지부가 국회에 제출한 자료와 기존 응급실 중증도/체류시간 등에 관한 기존 연구(심승배 외, 2009; 한승주 외, 2010, 김은

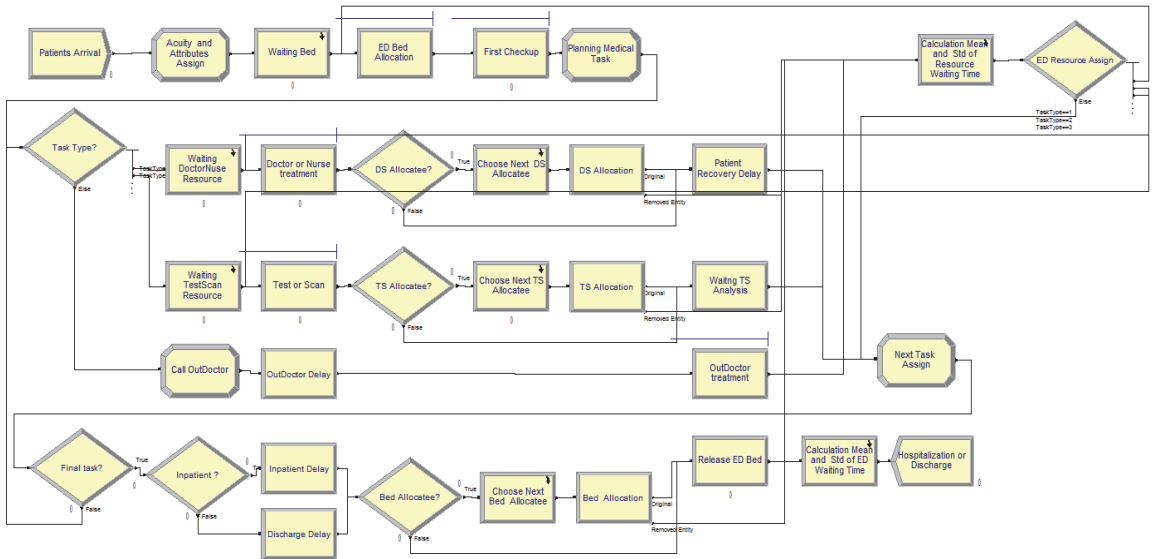


Fig. 11. ARENA simulation model for a virtual ER process

구분	응급실 운영 파라미터
병상 수	30개
환자 도착	Exponential(30)분
환자 중증도 $s_{i,t}$ 비율	1급 0.5%, 2급 5%, 3급 10%, 4급 70%, 5급 14.5%
진료테스크 단계 수	2개 10%, 3개 40%, 4개 40%, 5개 10%
응급실 자원 r	의사/간호사, 검사장비, 협진외사/입원실
의사/간호사, 협진외사의 진료테스크 수행시간	Triangular(3, 7, 10)분 업무에 상관없이 동일한 것으로 가정함
진료테스크 표준 수행시간	ST=Triangular(5, 20, 30)분 의사/간호사가 진료 후 환자가 회복하는 시간으로 진료테스크에 상관없이 동일한 것으로 가정함
환자의 진료테스크 j 의 수행시간 (표준시간에 중증도 반영)	소생: $1.2 \times ST$, 중증: $1.1 \times ST$ 응급: $1.0 \times ST$, 준응급: $0.8 \times ST$, 비응급: $0.3 \times ST$ 환자의 중증도에 따라 진료테스크 수행시간을 달리하기 위해 표준시간에 조정계수를 곱함
진료테스크 j 의 수행 시 요구되는 자원 r 의 비율	의사/간호사 35%, 검사장비 50%, 협진외사 15%
검사 시간	Triangular(3, 15, 30)분 검사 종류에 상관없이 동일한 것으로 가정함
협진외사/입원실 대기시간	Triangular(30, 40, 60)분 이 시간이 경과하면 협진외사 또는 입원실 자원이 획득됨
입원환자 비율	방문환자의 20%
진료테스크 중요도 w_j	Uniform(0.1,1)

Fig. 12. Input data of simulation model

주 외, 2010; 모창우, 2009; 김대범, 2016)를 참고하였다. 협진외사/입원실은 응급실 외부에 있는 일반병동의 자원이라 이 과정을 제대로 시뮬레이션에 반영하기 위해서는 모델이 지나치게 복잡하게 되므로 여기서는 확률변수를 갖는 대기시간이 지나면 해당 자원을 획득하는 것으로 모델링하였다. 병상은 30개이고, 100% 가동되고 있는 것으로 한다. 진료테스크 단계수는 2~5개의 과정으로 모든 환자에게 할당하고 중증도에 따른 체류시간 등의 논문연구 결과를 바탕으로 중증도에 따른 단계별 처리시간을 설정하였다.

각 응급의료기관에서 시행되고 있는 응급실 운영 방법은 서로 다르다. 본 연구에서 제시한 운영규칙과의 성능 비교 대안으로 중증도 기준의 운영 규칙을 채택하였다. 이는 환자의 진료테스크를 선정할 때 환자의 중증도가 높은 순으로 처리하고 중증도가 같은 경우에는 응급실 도착시간이 빠른 환자의 진료테스크를 먼저 처리한다. 평가지표는 체류시간을 사용하였다. 응급실 체류시간은 응급실에 도착한 순간부터 응급실을 떠날 때까지의 시간이다. 각 대안별 실험 결과치는 안정상태(Steady-state)에서 24시간 운영하고 30회 반복실험을 수행하여 얻었다. 의사/간호사 수를 1명에서 5명까지 바꾸면서 실험을 하였다. Fig. 13은 두 운영규칙의 체류시간을 비교한 그래프이다. 의사/간호사가 1명이 경우 제안한 운영 규칙에서

약 12%의 개선이 있으며 의사/간호사 수가 증가됨에 따라 지속적으로 우수한 성과를 보여주고 있다.

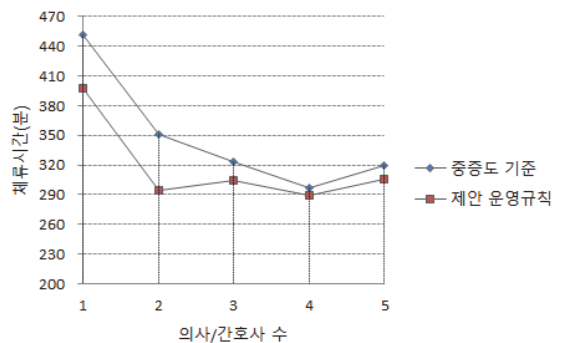


Fig. 13. Patient's length of stay for both rules

본 연구의 취지에 맞는 평가지표로는 응급실 체류시간, 대기 정도, 인적오류 정도 등이 있지만 여기서는 시스템 성능평가에 일반적으로 많이 사용하는 체류시간 지표 하나만 사용하였다. 대기 시간과 인적오류가 줄면 결과적으로 체류시간이 감소하기 때문에 체류시간 평가로 충분한 것으로 판단하였다. 환자 만족도, 인적오류에 의한 피해정도 등에 대한 평가도 필요하나 추후 연구로 미룬다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 실시간데이터 기반으로 한 응급실 운영 방법을 제안하였다. 운영 목표는 응급실 자원의 활용을 최적화하고, 인적오류를 최소화하며, 환자의 진료 예측정보를 즉시 제공 하는 것이다. 4개의 응급실 운영지수 즉 응급 케어지수, 체류 단축지수, 인적오류 유발지수, 대기 인내지수를 개발하였고, 이 지수를 실시간 모니터링하면서 응급실 자원을 운영하는 규칙을 제시하였다. 이는 응급실 의사, 간호사, 검사장비, 협진 의사, 입원실의 자원을 자동으로 배정하는 규칙이다. 시뮬레이션을 통해 주요 성과지표인 응급실 체류시간 단축에 기여할 수 있음을 확인하였다.

제시한 운영 규칙은 환자의 진료테스크 수행 정보를 실시간으로 제공함으로써 진료테스크 선정에 대한 불만을 해소하고, 조용히 있는 환자가 손해 보는 느낌을 제거하며, 반드시 처리해야 할 일을 놓치지 않게 하는 알림이 역할을 할 수 있다. 또한 의료진의 인적오류 관련 요인들을 지수화하여 관리함으로써 의사 및 간호사의 감정·육체 소진(Burn-out)을 줄일 수 있다. 이는 친절과 배려가 있는 진료로 이어져 환자와 의료진의 만족도를 동시에 제고할 수 있다.

기존 연구와 가상 응급실을 대상으로 한 이론적 연구라 현장에서의 일반화에 한계점을 가지고 있다. 실제 응급실 현장을 접목시킨 추가 연구가 필요하다. 운영지수를 보다 정교하게 설계하는 연구가 필요하다. 기 작성한 시뮬레이션 모델에 다양한 시나리오로 실험하여 보다 효과가 높은 지수 계산식을 도출할 수 있을 것이다. 진료 관련 예측시간의 신뢰도를 높이기 위한 연구가 필요하다. 실제의 응급실과 연동시킨 정교한 시뮬레이션 모델을 운영하여 예측치를 계산할 수 있을 것이다. 수리적 예측모델 도입, 뉴럴네트워크 기반 인공지능 모델 도입 등도 고려해볼 수 있다. 의사와 간호사 이외의 다양한 인자에 대한 시뮬레이션 연구가 필요하다.

References

1. 강민욱, 김재광, 임용수, 김진주, 현성열, 양혁준, 이근, 권지원, 조진성, 정호성 (2010), "인트라넷 기반의 자발적 의료오류 보고체계의 유용성", *대한응급의학회지*, Vol. 21, No. 1, pp. 110-118.
2. 김복자, 이은남, 강경희, 김성숙, 김순애, 성영희, 신덕신, 이광욱, 이희정 (2006), "응급실 간호사의 업무 구

- 명을 위한 연구", *임상간호연구*, Vol. 12, No. 1, pp. 81-95.
3. 김대범 (2016), "사물인터넷(IoT) 환경의 응급실에 있어서 진료테스크 선정 지원 알고리즘 개발", *한국시뮬레이션학회 논문지*, Vol. 25, No. 2, pp. 51-61.
4. 김용식 (2016), "병원의 프로세스 혁신", *병원경영학회지 혁신연구회*, 특별호, pp. 61-73.
5. 김정희, 안혜영, 엄미란, 이미영 (2010), "응급실 간호사의 소진, 업무수행, 전문직 정체성에 관한 연구", *한국산업간호학회지*, Vol. 19, No. 1, pp. 50-59.
6. 김은주, 임지영 (2010), "응급실 환자의 응급의료센터 체류시간 단축프로그램 개발 및 효과", *가정간호학회지*, Vol. 17, No. 1, pp. 21-27.
7. 김원희, 최혁중, 임태호, 강보승, 강형구 (2009), "응급실 협진 의뢰의 자동화가 응급실 체류시간에 미치는 영향", *대한응급의학회지*, Vol. 20, No. 2, pp. 155-162.
8. 김혜옥, 서봉화, 남문희, 박은아 (2013), "간호 대학생의 응급실 관찰 경험", *The Journal of Digital Policy & Management*, Vol. 11, No. 12, pp. 589-598.
9. 김현수, 김옥준, 최성욱, 김의중, 박영태, 고대이, 조윤경 (2010), "Six Sigma 활동을 통한 중증외상환자의 응급실 체류시간 개선 활동", *대한외상학회지*, Vol. 23, No. 2, pp. 119-127.
10. 김효선 (2016), "병원의 환자안전문화 개선 방향", *보건복지포럼*, pp. 31-45.
11. 네오젠소프트 neoPOCS (2013), "실시간처방관리 RFID 솔루션", <http://www.neozensoft.com/mobile.html> (Accessed July 29, 2017).
12. 네이버캐스트 (2015. 04. 23.), "응급실 폭력을 줄이는 디자인: 영국의 응급실 서비스 디자인 사례", Available at <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3579451&cid=58791&categoryId=58791> (Accessed July 26, 2017).
13. 모창우, 최성훈 (2009), "응급진료센터 운영 개선을 위한 시뮬레이션", *한국시뮬레이션학회지*, Vol. 18, No. 3, pp. 35-45.
14. 보건복지부 (2015), *한국 응급환자 중증도 분류기준*, 보건복지부 고시 제2015-243호.
15. 박찬석, 고석하 (2011), "계약이론(TOC)을 이용한 종합병원 외래 환자 대기시간 개선에 대한 연구", *병원경영학회지*, Vol. 16, No. 1, pp. 77-98.
16. 심승배, 최재형, 김보성, 오지수, 김승호, 박유석, 박인철, 정태녕, 오경환, 정봉주, 이영훈 (2009), "환자

- 의 중증도 분류를 고려한 응급실의 진료 프로세스 패턴 분석”, *한국경영과학회 학술대회논문집*, pp. 1470-1477.
17. 안기욱, 정진희, 어은경, 전영진, 정구영 (2007), “응급실내 의료오류 보고체계의 시범적 운영”, *대한응급의학회지*, Vol. 18, No. 3, pp. 218-226.
 18. 이수현, 정인성, 김재권, 박지송, 김시라, 강운구, 이영호 (2008), “응급실내 신속 대응을 위한 BPM 기반의 프로세스 관리 시스템”, *한국컴퓨터정보학회 동계학술발표대회 논문집*, Vol. 16, No. 2, pp. 107-111.
 19. 이승현, 배혜림, 원형준, 김훈태, 강석호 (2004), “계약이론을 활용한 업무프로세스의 효율적 실행 방법”, *한국전자거래학회지*, Vol. 10, No. 1, pp. 61-80.
 20. 임호근 (2016.3.3), *2015년 응급의료기관 평가결과, 보도자료*, 보건복지부 응급의료과.
 21. 주경연 (2016), *응급실 경력간호사의 직관 경험, 박사학위논문*, 아주대학교 대학원.
 22. 최성인, 성미혜 (2014), “응급실 간호사의 전문지 정체성, 역할갈등 및 직무만족도의 관계”, *한국산업간호학회지*, Vol. 15, No. 6, pp. 3725-3733.
 23. 최종수, 김동호, 김재준, 이풍렬, 김동수 (2014), 능동형 RFID 기술을 활용한 프로세스 혁신 및 스마트건강검진 시스템 구축, *Journal of Information Technology and Architecture*, Vol. 11. No. 1, pp. 45-52.
 24. 한승주, 김혜정, 서한영, 백자연, 김소연, 김민영 (2010), “응급의료센터 내원환자의 중증도와 체류시간에 관한 연구”, *중앙간호논문집*, Vol. 14, pp. 63-68.
 25. 한재현, 이견직, 안무업, 이태현 (2011), “린 6시그마와 시뮬레이션을 활용한 병원 응급실 프로세스 개선”, *Health and Social Welfare Review*, Vol. 31 No. 4, pp. 454-477.
 26. 홍승권 (2011), “서비스 분야에서 인간공학과 인적오류 연구”, *대한인간공학회지*, Vol. 30, No. 1, pp. 169-177.
 27. Alexander Schatten, Josef Schiefer (2007), “Agile Business Process Management with Sense and Respond”, *IEEE International Conference on e-Business Engineering*.
 28. D. Jack Elzinga, Tomas Horak, Chung-Yee, and Charles Bruner (1995), “Business Process Management survey and methodology”, *IEEE Transactions Engineering Management*. Vol. 42 NO. 2.
 29. DesignCouncil Corporation (2014), “A&E Design Challenge: Reducing violence & aggression”, Available at <http://www.designcouncil.org.uk/what-we-do/aedesign-challenge> (Accessed July 26, 2017).
 30. Ferrin, D. M., McBroom D. L., Miller, M. J. (2007). Maximizing Hospital Financial Impact and Emergency Department Throughput with Simulation. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, pp. 1566-1573.
 31. Hyerim Bae, Sanghyup Lee, Ilkyung Moon (2014). “Planning of business process execution in BPM environments”, *한국경영과학회 학술대회논문집*, 326-335.
 32. M. Thomas, R. Morton and K. Mackway-Jones (2004). “Identifying and comparing risks in emergency medicine”, *Emergency Medicine Journal*, Vol. 21, pp. 469-472.
 33. Park, E. H., Park, J., Ntuen, C., Kim, D., and Johnson, K. (2008), "Forecast Driven Simulation Model for Service Quality Improvement of the Emergency Department in the Moses H. Cone Memorial Hospital", *The Asian Journal on Quality*, Vol. 9, No. 3, pp. 1-14.



김 대 범 (dbkim@kangnam.ac.kr)

1989 고려대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1991 KAIST 산업공학과 졸업(석사)
 1995 KAIST 산업공학과 졸업(박사)
 1995~1999 삼성SDS(주) 책임연구원
 1999~현재 강남대학교 교수

관심분야 : 생산 및 물류시스템, 시뮬레이션, IT/IS