

## 응급진료센터 운영 개선을 위한 시뮬레이션

모창우<sup>1</sup> · 최성훈<sup>2\*</sup>

### A Simulation Study for Improving Operations of an Emergency Medical Center

Chang-Woo Mo · Seong-Hoon Choi

#### ABSTRACT

Emergency medical center(EMC) is the place for patients who need medical treatment immediately due to a disease, childbirth, or all sorts of accidents. Currently, most of EMCs use temporary beds because regular EMC beds cannot afford to serve all incoming patients. However, since it decreases the quality of service(QoS) of EMC patients and their guardians and efficiency of the EMC, some improvements are highly required to diminish the usage of temporary beds. The system duration time is one of the typical QoSs. This thesis proposes the information which is critical to make a better decision for cut down the number of temporary beds without sacrificing QoS of patients. The key point is to control the duration time of medical treatments for the consultation and hospitalization process, since it is the major reason of overcrowding in EMC and the usage of temporary beds. In this paper, we proposed an Arena simulation model reflecting real world substantially. Arena is one of the most widely accepted simulation softwares in the world. Using the developed model, we can obtain the optimal EMC operation parameters through simulation experiments. Optquest, included in the Arena, is used to make the developed simulation model collaborate with an optimization model. The results showed one can determine the set of optimal operation parameters decreasing the required number of temporary beds without deteriorating EMC patient's QoS.

**Key words** : Simulation, EMC(Emergency Medical Center), Arena, OptQuest

#### 요약

응급진료센터(Emergency Medical Center, EMC)는 질병, 분만, 각종 사고 및 재해로 인한 부상으로 즉시 응급처치를 받아야 하는 환자들을 위한 장소이다. 현재 대부분의 EMC는 정규병상으로부터 응급환자를 수용하여 서비스할 수 없는 관계로 임시병상을 운영하고 있으나, 응급환자 및 보호자의 서비스 질(quality of service, QoS) 향상과 EMC의 효율적인 운영을 위하여 임시병상 사용률을 낮추는 개선이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 임시병상 개수를 줄이면서도 응급환자의 체류시간이 증가하지 않는 개선안을 실행에 옮기는데 필요한 의사결정 정보를 응급의료학과에 제공하고자 한다. EMC 환자가 응급진료를 받는 시간보다 타부서 전문의와의 협의진료 시간과 다른 병동 입원 대기시간의 과다가 QoS 저하와 임시병상 투입의 주요 원인이 되고 있으므로 이들을 제어하는 것이 핵심이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 EMC를 잘 묘사하는 Arena 시뮬레이션 모델을 제안하고, EMC 최적 운영 파라미터 값들을 결정하는 실험 결과를 제시하고 있다. 최적화 모델을 시뮬레이션과 연동하여 실험을 하기 위하여 Arena에 탑재된 OptQuest를 사용하였다. 실험 결과, 짧은 실행시간 안에 응급환자의 체류시간을 증가시키지 않으면서, 임시병상 개수를 줄일 수 있는 최적의 파라미터 셋을 얻을 수 있었다.

**주요어** : 시뮬레이션, 응급진료센터, Arena, OptQuest

2009년 5월 8일 접수, 2009년 7월 21일 채택

<sup>1)</sup> 상명대학교 대학원 경영공학과

<sup>2)</sup> 상명대학교 경영공학과

주 저 자 : 모창우

교신저자 : 최성훈

E-mail; shchoi@smu.ac.kr

## 1. 서 론

현대는 고도화 되고 다변화된 사회로 많은 사고가 발생하고 있으며, 이에 따라 응급진료센터(Emergency Medical Center, 이하 EMC)의 중요성이 증가하고 있다. EMC는 응급치료를 필요로 하는 응급환자들에게 적시에 적절한 치료를 행한 후, 질병의 성질 및 환자의 상태에 따라 추후 관리를 결정해주는 곳이다. 응급환자란 좁은 의미에서 보면 분초를 다투는 응급치료를 생명을 구해야 하는 환자라고 하겠으나, 넓은 의미에서 보면 즉시 치료받기를 원하면 누구나 응급환자라고 할 수 있다. 현재 대부분의 EMC는 정규병상으로부터 응급환자를 서비스할 수 없는 관계로 임시병상을 운영하고 있다. 즉, 응급의료학과와 타부서와의 협의진료(이하 협진) 대기시간의 과다, 병원의 다른 병동에 입원하기 위해 EMC에서 기다리는 입원대기시간의 과다, 그리고 응급환자를 수용할 수 있는 충분한 병상을 확보하고 있지 못하여 임시병상을 활용해야 하는 상황이다.

이에 따라 EMC의 서비스 질(quality of service, QoS) 저하가 발생하고 있으며, EMC의 응급환자 및 보호자의 불만을 야기하고 있다. 안병은 등(1997)의 연구에 따르면 응급환자들은 적절한 서비스를 제공받지 못하고 있는 것으로 느끼고 있다. 이는 응급환자 치료를 위한 안정된 병상 수의 부족과 응급처치 과정에 대한 설명의 부족에 기인하고 있다. 그리고 응급환자 및 보호자들은 심리적인 불안감과 아울러 EMC의 혼잡스럽고 정돈되지 않은 환경에 대해 불편함을 지적하고 있다. 또한 응급환자의 성별, 연령별, 응급 중증도별에 따른 프라이버시 유지 미흡과 병원 관계자(의료진, 행정요원)의 불친절도 지적하고 있다.

EMC의 운영 측면에서는 긴급한 응급진료를 요하는 응급환자의 증가와 더불어 감기, 단순 골절, 장염 등의 명백한 비응급 성격의 환자가 증가하여 만성적인 적체 현상이 발생하고 있다. 이러한 만성적인 응급환자의 적체 현상은 EMC의 고유 기능을 약화시키는 주요 원인이 되고 있다(Medeiros 등, 2008).

지금까지 거론한 현상들은 본 연구의 대상인 한 대학병원 EMC(이하 SEMC로 부르기로 함)에서도 동일하게 나타나는 현상들이라고 할 수 있다. 이에 SEMC에서는 개선 방안을 도출하기 위해 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 시뮬레이션은 시스템에 대한 이해도 증진과 대안에 대한 평가 도구로 가장 많이 사용되는 경영과학 기법이다(Law 등, 1991; 최성훈, 2004).

본 연구에서는 일반 대형병원의 EMC에서 동일하게

나타나는 응급환자의 불편함과 만성적 응급환자 적체 문제를 해결하는데 적용할 수 있는 시뮬레이션 모델과 최적 운영을 위한 파라미터를 도출하여 제시하고자 한다.

시뮬레이션 기법을 활용한 EMC 관련 기존 연구에 대해 알아보기로 한다. 구미 국가들의 경우 컴퓨터 시뮬레이션이 확산기에 접어든 1980년대 이래로 시뮬레이션을 이용한 EMC 연구는 지속적으로 관심을 끌여오고 있는 분야이다. 일례로 시뮬레이션 분야 학술대회로 세계 제일의 명성을 얻고 있는 WSC의 경우만 보더라도, 2007년과 2008년의 최근 2년 동안, 6건 이상의 연구 사례가 보고되고 있다(Davies 등, 2007; Ferrin 등, 2007; Kolb 등, 2007; Miller 등, 2007; Khurma 등, 2008; Medeiros 등, 2008).

반면에 국내의 경우에는 본 연구자들이 파악한 바로는 모창우 등(2006)의 연구가 국내학계에 보고된 최초의 시뮬레이션 기법을 활용한 EMC 연구 사례이다. 이 연구는 시뮬레이션 모델을 활용하여 EMC의 병목 구간을 분석하고, 병목 구간의 적체를 해결하기 위한 새로운 대안의 효과를 예측하였으며, 최적 병상수를 예측하는 초기 분석을 수행하였다.

좀 더 본격적인 시뮬레이션 기반 EMC 연구로는 이정만 등(2008)의 응급환자의 체류시간 단축에 관한 것이 있다. 이 연구에서는 현상 분석을 통해 병리검사 시간이 과다함을 발견하고 진료 절차의 간소화, 응급실 전용 병리검사실 마련 등의 개선안과 그 예상 효과를 제시하고 있다. 병리검사를 위한 대기시간을 37.05% 단축하여 그 자체로는 큰 개선효과 있을 것으로 예상되지만, 일반적으로 응급환자의 전체 체류시간 관점에서 보면, 협진 대기시간과 입원 대기시간 항목들이 응급환자 체류시간의 중요 구성 요소이므로 이 항목들을 다루는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 아울러 EMC 정규병상의 적체로 인해, 임시병상을 운영하는 EMC가 적지 않은 것으로 알려져 있는데, 이 경우에는 임시병상 운영을 최소화 하는 개선안 또한 연구 대상에 포함해야 할 필요가 있다. 참고로 본 연구 대상 SEMC는 협진 대기시간과 입원 대기시간이 상대적으로 매우 길며, 임시병상을 운영하고 있다.

이외에 관련 국내 연구로는 노선택 등(2007)이 수행한 2건이 학계에 보고되어 있는데, EMC 자체에 대한 연구라기보다는 응급환자의 발생에서 수송까지 포함하는 전체적인 응급 의료 체계에 대한 것으로 응급환자의 생존 가능성을 높일 수 있도록 멀티 에이전트 기반 응급의료 시스템 구축을 다루고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 응급환자의 등급, 연구 대상 SEMC의 구성요소, 그리고 SEMC 프로세

스에 대하여 기술한다. 3장에서는 시뮬레이션 모델의 주요 입력 자료인 응급환자 발생 간격과 등급 판정에 대하여 다룬다. 그리고 4장에서는 SEMC 시뮬레이션 모델을 제시하고, 5장에서는 시뮬레이션 모델을 이용한 실험 및 결과 분석에 대하여 다룬다. 마지막으로 6장은 결론 및 추후 연구 방향을 제시한다.

## 2. SEMC 프로세스 개요

2장에서는 응급환자의 등급, 연구 대상 SEMC의 구성 요소, 그리고 응급환자 서비스 프로세스에 대해 기술하기로 한다.

### 2.1 응급환자의 등급

응급환자가 SEMC에 들어오면, 기본적인 예비진단(이하 예진)을 통하여 1차 등급 판단을 수행한다. 응급환자의 등급 판정기준은 병원별로 큰 차이가 없다. 여기서는 SEMC 기준을 따르기로 한다. 응급환자의 등급은 5가지로 구분된다. 세부적인 판단기준은 본 연구의 목적을 벗어나므로 기술하지 않고, 간단히 개괄적인 판단기준만을 정리하면 아래의 표 1과 같다.

표 1. 응급환자의 등급 판정기준

등급	판정 기준
1	사망 또는 사망에 준하는 위급 환자
2	생명은 유지되고 있는 상태이지만, 의식이 없는 환자
3	생명과 의식이 있는 위급한 환자로서, 주로 근골격계 질환 환자
4	외상 등의 경미한 증상의 환자로 간단한 치료 후에 퇴원이 가능한 환자
5	외래 업무 시간 종료 이후 EMC를 이용하는 환자로 외래 환자 수준의 치료가 필요한 환자

표 2. EMC 주요 구성요소와 병상수

구성요소	병상수
A 스테이션	20
B 스테이션	20
P 스테이션	20
임시 스테이션	19
수술실	2
X-ray실	1
격리실	1

### 2.2 SEMC 구성요소

본 연구 대상 SEMC의 주요 구성요소와 각각의 병상 수가 표 2에 제시되어 있다. 표 2에서 A와 B 스테이션은 성인 응급환자를 치료하는 곳이고, P 스테이션은 15세 미만의 소아 응급환자를 위한 곳이다. 그리고 임시 스테이션은 새로 들어온 응급환자를 A, B, 또는 P 스테이션의 정규병상에 배정할 수 없는 경우에 임시로 배정하기 위하여 설치해놓은 병상이다. 이 병상에 배정된 환자는 SEMC의 정상적인 진료 프로세스에 따라 서비스를 받고 있다가, 정규병상이 가용해지면 정규병상으로 이동하게 된다.

수술실은 1등급 환자 중에서 수술을 받아야 하는 환자를 위한 병상으로 2개를 가지고 있다. 추가로 X-ray실은 모든 응급환자가 사용할 수 있으며, 사용 여부는 의사의 판단에 따라서 결정된다. 마지막으로 격리실은 1등급 환자 중에서 다른 환자에게 영향을 미칠 수 있는 환자를 수용하는 병실이다. X-ray실과 격리실은 여유가 있으며, 전체 환자 중에서 차지하는 비율이 낮기 때문에 본 연구에서는 반영하지 않기로 한다.

### 2.3 SEMC 프로세스

SEMC 프로세스는 응급환자가 SEMC에 내원하는 것 으로부터 시작되며, SEMC에서 퇴원 또는 일반 병실에 입원하는 경우에 종료된다.

SEMC의 프로세스를 도식화 하면 그림 1과 같다. SEMC에 도착한 응급환자가 경미한 5등급인 경우에는 성인 또는 소아 구분 없이 간단한 응급진료 후에 퇴원한다. 5등급이 아닌 응급환자가 SEMC에 도착하면 먼저 성인환자와 소아환자로 구분된다. 이는 SEMC의 내부 규칙에 따른 것으로 15세 미만의 소아환자는 등급과 상관없이 P 스테이션으로 이동한다.

성인환자 중에서 1등급 환자의 경우에는 예진 단계를 거치지 않고 응급진료를 받는다. 1등급 환자가 수술이 필요한 경우에는 수술실을 이용한다. 만일 수술실이 가용하지 않는 경우에는 A, B 스테이션으로 이동한 후에 수술을 받는데, 이런 경우는 거의 발생하지 않는다. 그림 1에서는 1등급 환자의 수술실 프로세스를 생략하였다. 1등급 환자는 A 스테이션으로 이동하는 것이 원칙인데, 만일 A 스테이션에 정규병상이 없는 경우에는 B 스테이션으로 이동한다.

1등급과 5등급을 제외한 등급의 환자는 응급의료학과 전문의가 예진을 통하여 등급을 판정한다. 2등급 환자의 이동은 1등급 환자의 경우와 동일하다. 가장 많은 비율을 차지하는 3등급 성인환자는 번갈아가며 A와 B 스테이션

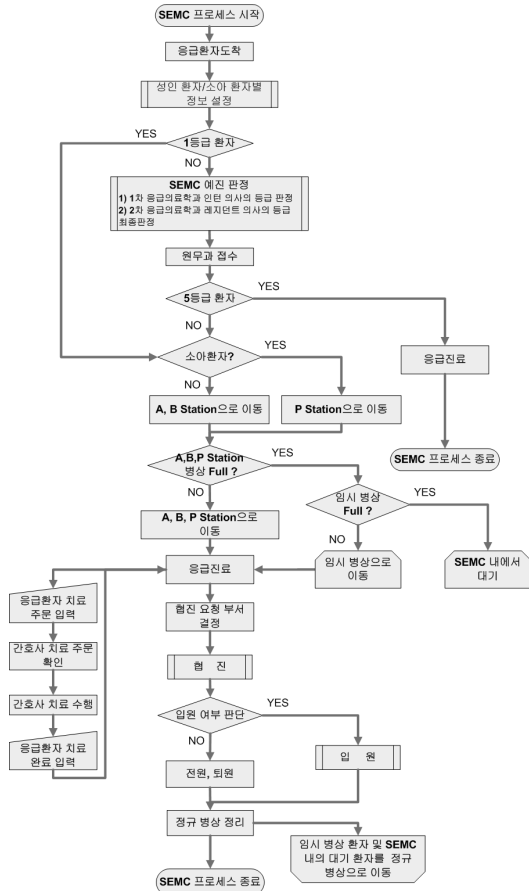


그림 1. SEMC 프로세스

으로 이동한다. 경미한 치료를 필요로 하는 4등급 환자는 B 스테이션으로 이동한다.

모든 응급환자는 각 스테이션의 정규병상의 가용성을 확인한 후에 사용 가능한 병상이 없는 경우에는 임시병상으로 이동하며, 임시병상도 사용할 수 없는 경우에는 SEMC 내에서 가용 병상이 나올 때까지 대기한다. 대기 중에도 간단한 응급 처치를 시행하지만, 전체 응급진료시간에 미치는 영향이 작은 점을 감안하여 그림 1에서는 생략하였다. 병상을 배정받지 못하여 대기하고 있는 응급 환자는 정규 병상 또는 임시병상이 사용 가능한 상태가 되는 경우에 해당 병상으로 이동한다.

병상으로 이동한 응급환자에게는 응급진료가 수행된다. 응급진료 후에는 협진 절차에 따라서 협진 과정을 거친다. 응급의료학과 전문의와 협진 부서 전문의 사이의 협진 과정을 통하여 응급환자의 입원, 퇴원, 또는 전원 여부가 결정된다. 입원이 결정된 환자는 해당 부서의 병동

으로 이동하며, 퇴원 또는 전원이 결정된 환자는 SEMC를 떠나면서 SEMC 프로세스가 종료된다.

참고로 간호사는 입력된 치료 주문에 따라서 응급환자의 치료 업무를 수행한다. 그런데 간호사가 부족해서 응급환자의 체류시간이 증가되는 경우는 거의 발생하지 않으므로 본 연구에서는 시뮬레이션 모델에 반영하지 않았다.

### 2.4 EMC 프로세스 성능평가 척도

EMC 프로세스의 성능을 평가하는데 있어서 가장 중요하게 고려해야 하는 항목으로는 병상과 응급환자를 들 수 있다. 본 연구에서는 병상에 대한 성능 평가척도로 스테이션별 병상의 평균 사용률을 적용하였으며, 응급환자에 대해서는 EMC 체류시간을 선정하였다.

SEMC의 경우를 포함하여 일반적으로 응급환자의 EMC 체류시간은 접수 단계에서부터 퇴원까지의 소요되는 시간을 의미한다. 참고로 퇴원에는 전문적인 치료를 위하여 타 부서의 병동에 입원하는 것이 포함된다. EMC 체류시간은 크게 EMC 병상 배정 대기시간, 응급진료시간, 협진 시간, 타부서 병동으로의 입원대기시간, 그리고 입원행정 대기시간으로 구성된다.

병상 배정 대기시간은 응급환자가 EMC에 도착한 후 모든 정규병상과 임시병상이 사용 중이어서 병상을 배정 받기위하여 EMC 내에서 대기하는 시간을 의미한다. 응급진료시간은 응급의료학과 전문의의 진료를 받는데 소요되는 시간이다. 협진시간은 응급의료학과 전문의와 타부서 전문의간의 판정을 협의하는데 걸리는 시간을 의미한다. 입원대기시간은 최종 진료부서가 결정된 후 해당 부서 병동의 병상으로 이동이 확정되기 전까지 대기하는 시간을 나타낸다. 마지막으로 행정 대기시간은 타병동으로의 입원이 확정되었으나, 행정부서의 근무시간이 아닌 관계로 퇴원수속 등을 하지 못해서 EMC를 떠나지 못하고 대기하는 시간을 의미한다.

## 3. 시뮬레이션 모델 입력자료

본 장에서는 SEMC 시뮬레이션 모델 개발을 위해 필요한 입력자료에 대해 다룬다. 주요 입력자료에는 응급환자 도착 모델, 응급환자의 등급 판정 비율이 있으며, 추가로 기타 입력자료에 대하여 기술하기로 한다.

### 3.1 응급환자 도착 모델

EMC 시뮬레이션 모델의 주요 개체는 응급환자이다.

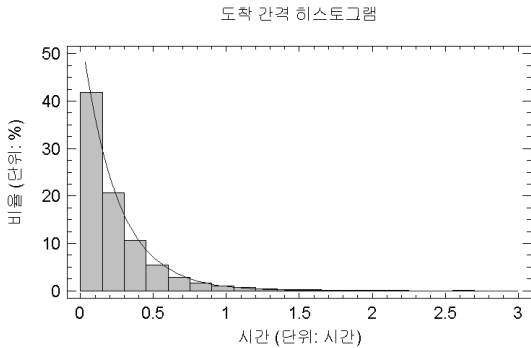


그림 2. 응급환자 도착 간격 히스토그램

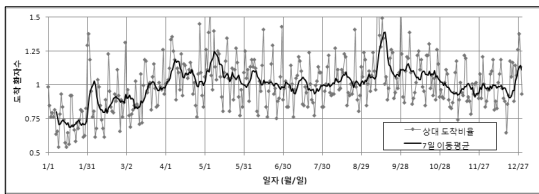


그림 3. 일별 응급환자 도착수 추이도

표 3. 등급별 응급환자 발생 비율

등급	비율(%)	
1	3.0	
2	97.0	3.0
3		90.0
4		6.0
5		1.0
계	100.0	

응급환자의 발생 상황을 정확히 묘사할 수 있는 확률분포를 선정하는 것이 시뮬레이션 모델링 과정에서 가장 중요한 사항의 하나라고 할 수 있다. 본 연구에서는 과거 1년간 SEMC를 내원한 환자 데이터를 이용하여 도착 간격에 대한 확률분포 유형을 분석하였다.

그림 2는 과거 1년간 내원한 응급환자의 도착간격 데이터를 이용하여 작성한 히스토그램이다. 그림의 히스토그램은 도착 간격이 지수분포를 따르는 것처럼 보인다. 실제로 Arena의 입력분석기(Kelton 등, 2007)를 이용하여 확률분포를 추정한 결과, 지수분포로 추정되었다. 그러나 응급환자의 도착간격은 이기호 등(1990)의 연구 결과에서와 같이 시간대별, 요일별, 월별, 계절별로 상이한 형태를 보인다. 그림 3에서 알 수 있듯이 응급환자는 사계절 중에 봄철과 여름철이 다른 계절에 비해 더 많이 발생

하고 있다. 그림에서 도착 환자수는 일년 평균에 대한 상대 비율이다. 7일 이동평균을 보면, 봄과 여름에 확실히 응급환자가 많음을 알 수 있다. 참고로 일주일 중에는 토요일과 일요일에 상대적으로 더 많은 응급환자 발생률을 보이고 있다.

이처럼 데이터가 비동질적 포아송 과정 (nonhomogeneous Poisson process, NHPP)을 따르는 경우에는 시뮬레이션에서 일반적으로 많이 사용되고 있는 방식으로 도착 모델을 추정하여 사용하는 것은 적절하지 못하다. 즉, 이 경우에 Arena의 입력분석기, ExpertFit(Law, 2003; 최성훈, 2004) 등과 같은 입력 확률 분포 자동 선정 툴이나, MiniTab, SAS, SPSS, StatGraphics 등의 일반 통계 소프트웨어를 사용하여 단순하게 확률분포를 추정하는 것은 적절하지 않다. 따라서 본 연구에서는 과거 1년간 수집된 실제 데이터를 이용하여 환자 도착 간격 시간을 모델링 하는 경험 분포(historical distribution) 방식을 채택하였다.

### 3.2 응급환자 등급 판정

SEMC에 내원한 응급환자는 첫 번째 절차인 예진 단계에서 등급을 판정받는다. 예진 단계는 표 1에서 설명된 1등급과 5등급 환자를 제외한 환자들에게 적용된다.

본 연구의 시뮬레이션 모델에서는 과거 1년간 수집된 실제 데이터를 이용하여 표 3과 같이 각 등급별 발생 비율을 선정하여 적용하였다. 참고로 SEMC를 내원하는 환자 중에서 30%가 소아환자이고, 이 값은 스테이션을 결정하는 정보로 사용된다.

### 3.3 기타 입력자료

협진은 환자의 상태에 따라 반복하여 진행되는 경우가 많다. 협진 회수에 대한 과거 데이터를 분석한 결과, 알려진 확률분포에 대한 적합도검정이 유의하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 경험 분포를 적용하였다. 아울러 과거 1년간의 1회당 협진시간 소요시간 데이터를 Arena의 입력 분석기를 이용하여 분석한 결과, Johnson 확률분포가 가장 적절한 것으로 제시되어, 이를 이용하였다(Kolmogorov-Smirnov 검정법 적용시 p-value는 0.01 미만).

그리고 응급진료시간에 대한 입력 모델을 결정하기 위해 과거 1년간 데이터를 분석한 결과, Beta 확률분포를 적용하였다(Kolmogorov-Smirnov 검정법 적용시 p-value는 0.01 미만). 마지막으로 입원 가능시간은 업무과의 근무시간인 오전 10시~오후 11시 사이이다. 이외의 시간에는 SEMC에서 타부서 병동으로의 입원 판정이 나더라도 행정 대기가 발생한다.

### 4. 시뮬레이션 모델

본 장에서는 SEMC의 업무특성 분석 결과를 기초로 하여 시뮬레이션 모델을 구현하였다. 먼저 시뮬레이션의 성공적인 적용을 위하여 EMC의 업무 특성을 적절하게 구현할 수 있는 패키지를 선정하였다. EMC는 프로세스 월드 뷰로 잘 표현할 수 있으므로 Arena와 같은 시뮬레이션 소프트웨어가 적절한 것으로 사료된다. 아울러 최적 운영 조건을 알아내려면 많은 대안에 대한 실험이 필요하므로 배치 방식으로 시뮬레이션 실행이 용이하며, 최적화 툴로 연결될 수 있는 Arena가 적합한 것으로 판단되어 본

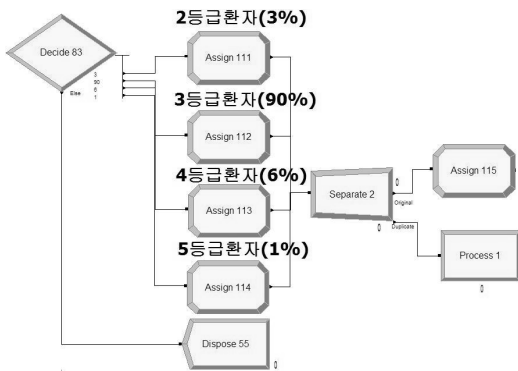
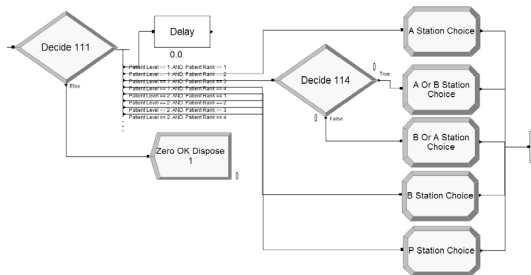
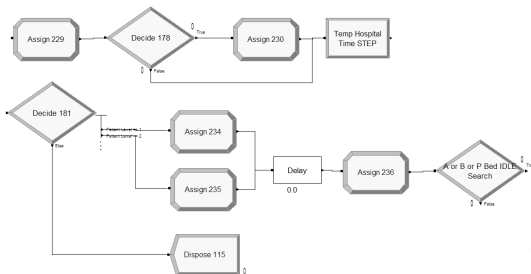


그림 4. 등급판정 모듈의 일부



(a) 스테이션 결정



(b) 임시병상 진료

그림 5. 진료 모듈의 일부

연구에서는 Arena ver 12.0 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하였다(Kelton 등, 2007).

모델 개발과 수정의 편리성을 위해 SEMC 전체 업무 프로세스를 분석한 후, 모듈로 분할하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 전체 모델은 다음과 같이 크게 4개의 모듈로 구성된다.

- 응급환자 생성 모듈
- 등급판정 모듈
- 진료 모듈
- 응급환자 흐름제어 모듈

이제 각 모듈에 대해 상세히 기술하기로 한다.

#### 4.1 응급환자 생성 모듈

‘응급환자 생성 모듈’은 3장에 기술된 바와 같이 과거 데이터를 바탕으로 응급환자 개체를 생성한다.

#### 4.2 등급 판정 모듈

SEMC에 도착한 응급환자는 과거 환자 데이터의 비율에 따라서 우선 1등급과 그 외의 등급으로 구분된다. 그리고 예진을 통하여 각 응급환자에 대해 2~5등급 판정을 한다. 그림 4에 이 모듈의 일부가 예시되어 있다.

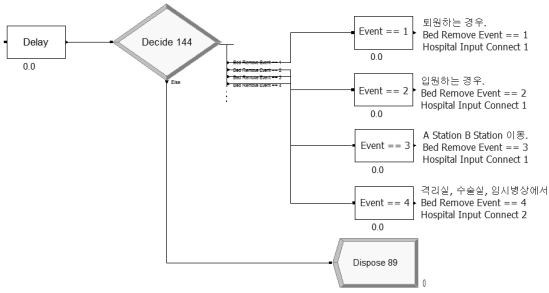
#### 4.3 진료 모듈

진료 모듈은 등급 판정을 받은 응급환자를 위해 세부적인 응급처치가 수행되는 모듈이다. SEMC 개선방안들의 효과를 예측하는데 있어서 핵심이 되는 모듈이라고 할 수 있다.

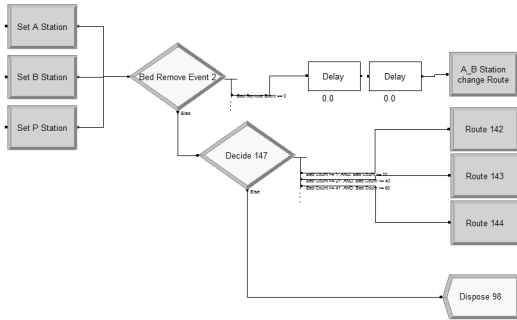
이 모듈은 2.3절에서 기술되어 있는 프로세스를 기초로 하여, 응급환자의 등급에 따라서 수용할 스테이션 결정(그림 5(a) 참조), 필요한 진료업무(그림 5(b) 참조), 응급환자의 최종 병명과 진료 부서를 결정하는 협진, 그리고 입원 기능을 수행한다.

#### 4.4 응급환자 흐름제어 모듈

이 모듈은 SEMC에서 환자의 이동 및 업무 프로세스 진행에 따른 흐름 및 애니메이션을 제어하는 모듈이다. 이 모듈은 그림 6(a)와 그림 6(b)과 같은 세부 모듈로 구성된다. 그림 6(a)는 병상에서 응급진료, 협진, 입원 퇴원으로 해당 업무가 완료되거나 결정되었을 때 정보를 경신하는 모듈의 일부이다. 그림 6(b)는 스테이션 사이의 이동을 제어하는 모듈이다. 퇴실하는 응급환자의 상태정보 등을 이용하여 SEMC 내의 다른 환자의 스테이션(임시 스



(a) 응급환자 정보갱신 모듈



(b) 응급환자 흐름제어 모듈의 일부

그림 6. 응급환자 흐름제어 모듈의 일부

테이션 포함)을 변경하고 환자를 변경된 스테이션의 병상으로 이동한다.

## 5. 실험 및 결과 분석

### 5.1 모델 검증 및 현행 시스템 분석

개발된 시뮬레이션 모델을 이용하는 실험을 위해 사용된 컴퓨터의 CPU는 인텔 코어 TM2 쿼드 프로세서 Q6600 이고, 클럭 속도는 2.4GHz이며, 메인 메모리는 4GB이다.

SEMC는 24시간 연중무휴로 가동되는 시스템이므로, 시뮬레이션을 실행하는 경우 안정상태 이전의 통계치를 제거한 후 통계치를 수집해야 한다. Arena의 출력 분석기를 이용하여 A, B, P, 그리고 임시 스테이션의 병상 사용률 플롯을 출력하여 분석한 결과, 7일이 적절한 워밍 기간으로 선정되었다. 시뮬레이션 수행 기간은 5년으로 설정하였다. 위와 같은 조건으로 1회 시뮬레이션 수행에는 약 1분 45초 정도가 소요되었다.

개발된 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하기 위하여 모델의 구성요소를 현재 시스템 상태로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 먼저 2.3절에서 기술한 SEMC 프로세스가 모델에 정확하게 반영되어 있는지를 애니메이션

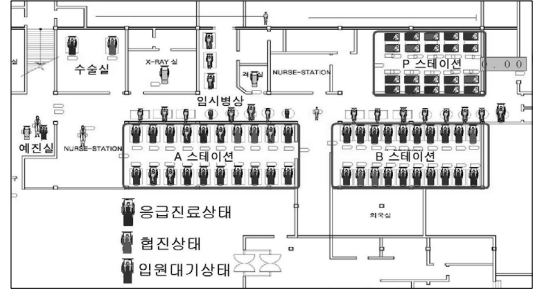


그림 7. 애니메이션 화면

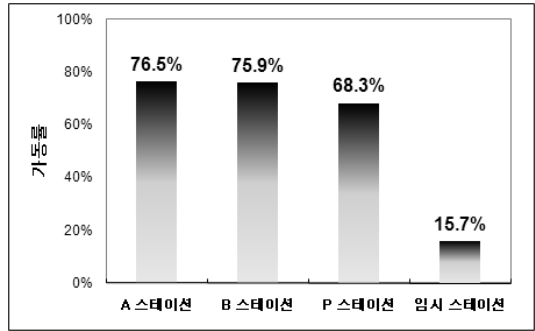


그림 8. SEMC의 병상 종류별 평균 사용률

(그림 7)을 통하여 검증하였다. 응급의료학과 전문의들과 애니메이션을 검토한 결과, 개발된 모델이 실제 시스템과 매우 유사하게 작동됨을 확인할 수 있었다.

또한 개발 모델의 장기간에 걸친 성능평가 척도 통계량이 기존 시스템의 통계량과 일치하는지 알아보기 위해서 SEMC 병상 종류별 사용률과 응급환자의 SEMC 체류 시간을 비교하였다. 그림 8은 기존 SEMC의 병상 종류별 평균 사용률을 시뮬레이션을 통해 구한 것이다. 참고로 각각에 대한 95% 신뢰구간은  $0.765 \pm 0.020$ ,  $0.759 \pm 0.017$ ,  $0.683 \pm 0.018$ , 그리고  $0.157 \pm 0.018$ 이다. 이 값들은 기존 시스템에서의 사용률과 매우 유사한 것으로 파악되었다.

응급환자의 SEMC 체류시간은 2장의 설명과 같이 병상배정 대기시간, 응급진료시간, 협진시간, 입원 대기시간, 행정 대기시간으로 구성된다. 시뮬레이션 결과, 총 체류시간은 26.67시간으로 추정되었는데, 각 구성요소는 그림 9와 같다. 각각에 대한 95% 신뢰구간은  $2.14 \pm 0.121$ ,  $3.40 \pm 0.025$ ,  $4.93 \pm 0.034$ ,  $12.67 \pm 0.062$ , 그리고  $3.53 \pm 0.054$ 이다. 응급의료학과 전문의들의 경험과 과거 1년 동안 SEMC의 자료와 비교하여 유사한 것으로 파악되었다.

이제 다음 절에서는 검증된 시뮬레이션 모델을 이용하

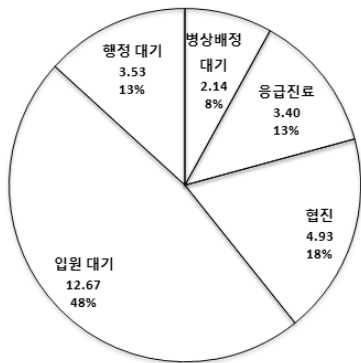


그림 9. 응급환자의 SEMC 체류시간

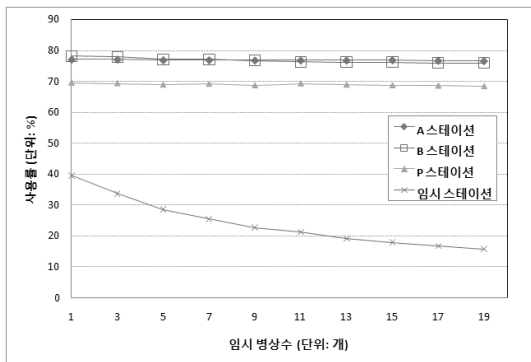


그림 10. 임시병상수 감소에 따른 사용률 추이

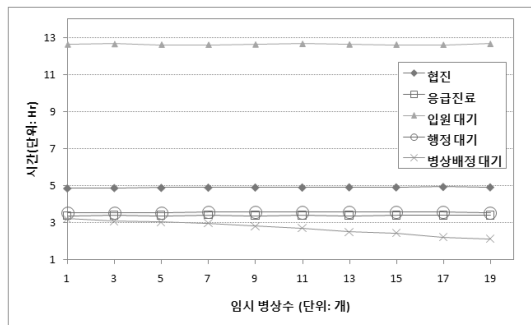


그림 11. 임시병상수 감소에 따른 체류시간 추이

여 SEMC 운영 개선방안을 도출한다.

### 5.2 SEMC 운영 개선방안 도출

응급의료학과에서 개선 사항으로 고려하고 있는 항목은 임시병상수의 감소이다. 임시병상은 SEMC 개원 당시에는 고려되지 않은 병상이다. 점차 시간이 경과함에 따라 내원하는 응급환자가 증가하고, 이에 따라 SEMC 병

상 배정 대기시간이 증가되고 응급환자가 다른 병원으로 이동하는 전원 현상이 늘어나게 되었다. 이에 대한 대책으로 채택된 것이 임시병상의 설치와 운영이다. 그러나 임시병상은 주로 통로이거나 협소한 공간에 설치되는데, 응급진료의 효율 저하와 더불어 응급환자와 보호자의 QoS 저하를 야기하고 있는 상황이다.

개선 방안은 응급환자의 QoS와 SEMC의 운영 측면을 동시에 고려해야 하며, 더 나아가 병원 전체를 고려하여 타부서와 조화를 이루어야 할 것이다. 임시병상수를 줄임으로써 응급환자가 임시병상에서 치료를 받아야 하는 바람직하지 못한 상황을 감소시킬 수 있으며, SEMC의 운영을 더 원활히 할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 앞에서 언급했듯이 단순히 임시병상수만 줄여서는 SEMC 병상 배정 대기시간이 증가되므로 해결책이 될 수 없다. 이는 기존 시스템에서 다른 부분은 그대로 유지한 채 임시병상수만 감소시킨 시뮬레이션을 통해 얻은 그림 10~11에서도 알 수 있듯이, 임시병상수가 감소됨에 따라 임시병상 사용률이 증가하고 SEMC 병상배정 대기시간이 늘어나고 있다.

그림 11에서 병상배정 대기시간은 전체에서 높은 비율을 차지하고 있지는 않지만, 응급환자가 적절한 서비스를 받지 못하고 SEMC 내에서 대기하고 있는 시간이므로 환자와 보호자 입장에서는 가장 중요하고 긴 시간으로 느껴진다는 점을 고려해야 한다.

임시병상수 감소와 더불어 정규병상수를 늘리는 방안을 생각할 수 있지만, 공간 제약 등의 이유로 실행에 옮기는 것은 어려운 상황이다. 다른 방안으로 응급환자의 SEMC 체류시간을 감소시켜 SEMC 병상의 회전율을 높이는 방안을 생각할 수 있다. 그림 9에서 알 수 있듯이 협진 시간과 타 병동 입원 대기시간이 환자의 체류시간에서 많은 부분을 차지하고 있다. 두 항목의 시간을 줄일 수 있으면, 응급환자의 QoS를 저하시키지 않으면서 임시병상수를 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 참고로 두 항목의 시간을 줄인다는 것은 각 항목에 대해 소요시간의 상한치를 SEMC 운영 파라미터로 미리 설정해놓고, 상한치에 도달하면 응급의료학과 전문의의 판단으로 다음 프로세스로 진행할 수 있도록 하는 것이다.

그러나 협진 시간과 입원 대기시간을 줄이는 방안은 타 부서와의 입장 차이로 인하여, 타 부서의 협조 없이 응급의료학과가 단독으로 결정하여 운영할 수 있는 것은 아니다. 타 부서는 그들 고유의 업무를 진행하면서 SEMC 지원 업무를 수행하여야 하므로 가능하다면 협진 시간과 입원 대기시간을 길게 확보하여 여유를 갖고자 하기 때문에



SEMC와는 상충되는 목적을 가지게 된다.

그래서 본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 타 부서와의 협의를 위한 의사결정 자료를 도출하고자 한다. 즉, 임시병상수가 감소됨에 따라 응급환자의 QoS와 SEMC의 운영 측면을 만족하면서 동시에 협진 시간과 입원 대기시간의 상한치를 가능한 크게 설정할 수 있는 대안을 제시하고자 한다.

이제, 협진 시간 상한치와 입원 대기시간 상한치를 각각 의사결정변수  $x_1$ 과  $x_2$ 라고 하자. 두 변수의 범위는 분석 대안수를 줄이고 SEMC 운영 단순화를 위하여 양의 정수로 제한하였다. 그러면 위의 상황을 최적화 모델 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$Max f(x_1, x_2) = w_1x_1 + w_2x_2 \tag{1}$$

$$s.t. \\ g(x_1, x_2, t) \leq u \tag{2}$$

$$h(x_1, x_2, t) \leq v \tag{3}$$

$$3 \leq x_1 \leq 14 \tag{4}$$

$$5 \leq x_2 \leq 20 \tag{5}$$

식 (1)은 목적함수로서 SEMC를 지원해야 하는 타 부서가 바라는 상황인 ‘가능하면 큰 협진 시간과 입원 대기시간의 상한치’를 반영하여 두 값의 합을 최대화 하는 것으로 설정하였다. 여기서  $w_1$ 과  $w_2$ 는 각각 협진 시간과 입원 대기시간에 대한 가중치이다.

제약조건식 (2)에서  $g(x_1, x_2, t)$ 는 시뮬레이션을 통해 구해야 하는 정규병상 평균 사용률이고  $t$ 는 임시병상수로 1~19 사이의 상수이다. 식 (2)는 이 값의 상한( $u$ : (0, 1) 사이의 상수)을 설정하여 여유 병상이 확보될 수 있도록 하기 위한 것이다. 그리고 식 (3)에서  $h(x_1, x_2, t)$ 는 시뮬레이션을 통해 구해야 하는 병상배정 최대 대기시간이며, 제약식 (3)은 이 값에 대해 상한( $v$ : 양의 상수)을 두어, 응급환자의 QoS를 보장하는 해를 구하도록 하는 제약조건이다. 마지막으로 식 (4)와 (5)는 본 최적화 모델을 통해 구하려는 협진 시간과 입원 대기시간의 상한치에 대한 최소값과 최대값에 대한 범위이다. 이 범위는 과거 1년간의 SEMC 데이터를 분석하여 설정하였다.

본 논문에서는 위의 최적화 문제를 풀기 위해 Arena에 내장되어 있는 시뮬레이션 최적화 툴인 OptQuest를 이용하였다. OptQuest는 OptTek System사에서 개발되었으며,

AnyLogic, Flexsim, ProModel, SIMUL8, CrystalBall, Enterprise Dynamics(TaylorII)과 같은 많은 시뮬레이션 소프트웨어에 내장되어 있거나, 함께 공급되고 있다(April 등, 2001; Kleijnen, 2007; Swain, 2007; OptTek Systems, Inc., 2009). 참고로 OptQuest가 사용하는 알고리즘은 타부 검색, 신경망, scatter 검색이며, 이들 중에서 하나를 선택하거나 또는 조합하여 사용한다(OptTek Systems, Inc., 2009).

여기서는 협진시간의 경우 타 부서 전문의의 업무 부하를 감안하고, 입원 대기시간의 경우 응급환자의 생명과 직접적인 관계가 적은 점을 고려하여  $w_1$ 과  $w_2$ 의 값을 각각 10.0과 1.0으로 설정하였다. 그리고 제약 조건 (2)의  $u$ 를 70%로 설정하였는데, 응급환자 처리 능력에 대해 여유를 확보하고 있어야 한다는 응급의료학과 전문의 의견을 반영한 것이다. 식 (3)은 SEMC를 방문한 응급환자의 병상배정 최대 대기시간이 상한치,  $v$ 를 넘지 않도록 하는 제약식으로,  $v$ 를 2시간으로 설정하였다. 마지막으로  $t$ 는 임시병상수를 나타내는 상수인데, 실험횟수를 줄이기 위해 각각 1, 3, 5, ..., 17에 대하여 최적해를 구하였다.

OptQuest를 이용하여 각 임시병상수에 대해 협진 시간과 입원대기 시간에 대한 상한치의 최적값을 구했으며, 결과를 정리해놓은 것이 그림 12이다. 임시병상수가 감소함에 따라 응급환자의 QoS와 SEMC의 운영 효율을 보장하기 위해 두 상한치가 줄어들고 있음을 알 수 있다. 참고로 OptQuest를 이용하여 하나의  $t$  값에 대한 최적해를 구하기 위해 약 102분의 실험 시간이 소요되었다.

그림 13과 14는 임시병상수별 최적해 각각에 대한 스테이션별 병상의 평균 사용률과 프로세스별 평균 체류시간 그래프이다. 그림을 통해 최적화 모델의 정규병상 평균 사용률, 병상배정 최대 대기시간 제약 사항들이 준수되고 있음을 알 수 있다. 그리고 기존 시스템( $t$  값이 19

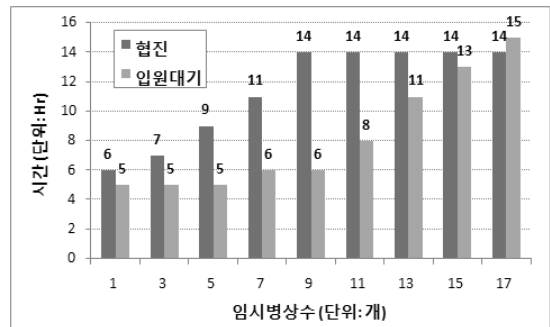


그림 12. 임시병상수별 최적해

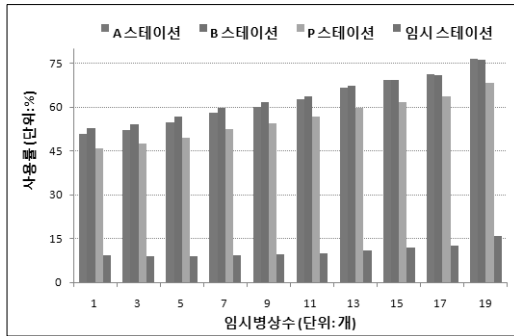


그림 13. 임시병상수별 최적해에 대한 스테이션별 평균 사용률

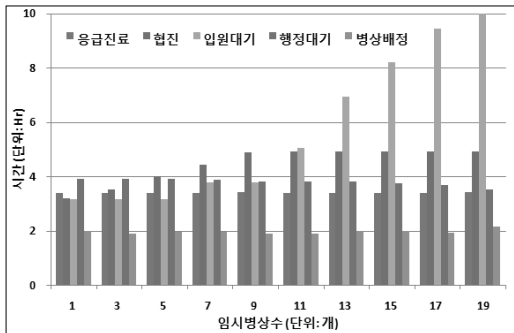


그림 14. 임시병상수별 최적해에 대한 프로세스별 평균 체류시간

입)과 비교해보면, 임시병상수가 줄어들더라도 상한치를 조정함으로써 병상 사용률과 체류시간 성능평가 척도 값들이 저하되지 않음을 파악할 수 있으며, 제약조건들을 충족시키는 과정에서 오히려 이들 척도값들이 향상될 것으로 예상된다.

이상으로 시뮬레이션을 통해 각 임시병상수별로 최적의 협진시간과 입원대기시간의 상한치를 결정할 수 있었다. SEMC는 협진시간과 입원대기시간의 상한치에 대한 표준을 설정하는 협의 시에 본 연구의 결과를 의사결정 정보로 활용할 수 있으므로, 막연한 추측에 근거한 설득을 지양하고 합리적인 데이터에 의한 강력한 설득력을 발휘할 수 있을 것으로 예측된다. 따라서 SEMC는 더 좋은 의사결정에 도달 할 수 있을 것으로 사료된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 대표적인 범용 시뮬레이션 소프트웨어의 하나인 Arena를 이용하여 SEMC 시뮬레이션 모델을

개발하였다. 그리고 개발된 모델을 이용하여 SEMC의 개선을 위해 최적 운영 파라미터 셋을 설정하였다. 이 파라미터 셋은 SEMC 운영 개선을 위한 타부서의 협의 시에 의사결정 정보로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

우리나라의 경우, 시뮬레이션이 정보통신, 군, 제조 분야 위주로 적용되고 있으나, 구미의 사례를 보더라도 서비스 분야에서의 시뮬레이션 응용이 좋은 성과를 내고 있으며, 우리나라 산업 구조가 제조에서 급격히 서비스 산업으로의 개편되는 추세로 보아 서비스 분야로의 적극적인 확대 적용 연구가 필요할 것으로 판단된다.

추후 연구 방향으로 본 연구에서 제안한 최적화 모델 대신에 다목적 계획법을 이용하는 연구를 고려할 수 있을 것이다. 또한 협진시간과 대기시간 가중치, 정규병상 사용률 상한치 등에 대한 민감도 분석을 실시하여 좀 더 다양한 의사결정 정보를 얻을 수 있을 것이다. 마지막으로 적절한 정규병상수 선정, 의사와 간호사의 스케줄, 정확한 응급환자 입력 모델 연구 등을 고려할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. 노선택, 이근상, 문석재, 엄영현, 정계동, 최영근 (2007), "MAEMS : 멀티 에이전트 기반 응급 의료 시스템 모델링", 한국 정보 과학회 한국 컴퓨터 종합학술대회 논문집, 무주리조트, 전북, Vol. 34, No. 1(D), pp. 453-457.
2. 노선택, 이근상, 최영근 (2007), "ARENA를 이용한 멀티 에이전트 기반 응급 의료 시스템 시뮬레이션", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, 부산대학교, 부산, Vol. 34, No. 2(B), pp. 408-413.
3. 모창우, 최성훈(2006), "응급진료센터 분석 시뮬레이션 연구", 한국시뮬레이션학회 2006년 추계 학술대회 논문집, 고려대학교, 서울, pp. 165-169.
4. 안병은, 이수경, 엄석남, 전경후 (1997), "응급실 내원객들이 느끼는 불만 양상", 대한가정의학회지 가정의, Vol 18, No .5, pp. 541-547.
5. 이기호, 이문희, 최학봉 (1990), "응급실 내원 환자의 분석", 대한가정의학회지, Vol. 11, No. 11, pp. 28-33.
6. 이정만, 김미이, 김동현, 이종일, 김기만, 이영훈, 김승호, 박유석 (2008), "응급실 환자 체류시간 단축을 위한 시뮬레이션 모델", 한국시뮬레이션학회 2008 춘계학술대회, 포항공과대학교, 경북, pp. 165-173.
7. 정홍주, 안승재, 임희상, 조은준, 정종훈 (1991), "종합병원 응급실 내원환자의 진료내용에 대한 분석", 대한가정의학회지, Vol. 12, No. 9, pp. 24-29.
8. 최성훈 (2004), "시뮬레이션 기법의 성공적인 적용을 위한 실무 가이드라인", 산업경영시스템학회지, Vol. 27, No. 4,

- pp. 125-132.
9. April, J., Glover, F., Kelly, J., and Laguna, Manuel (2001), "simulation/optimization using "real-world" applications", Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, Arlington, VA, USA, pp. 134-138.
  10. Davies, R. (2007), "See and Treat" or "See" and "Treat" in an Emergency Department", Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp. 1519-1522.
  11. Ferrin, D. M., McBroom D. L., and Miller, M. J. (2007), "Maximizing Hospital Finacial Impact and Emergency Department Throughput with Simulation", Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp. 1566-1573.
  12. Khurma, N., Bacioiu, G. M., and Pasek, Z. J. (2008), "Simulation-Based Verification of Lean Improvement for Emergency Room Process", Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, pp. 1490-1499.
  13. Kelton, W. David , Sadowski, Randall P., and Sturrock, David T. (2007), *Simulation with Arena*, 4th Edition, McGraw-Hill Higher Education.
  14. Kleijnen, Jack P.C., and Wan, Jie (2007), "Optimization of simulated systems: OptQuest and alternatives", Simulation Modelling Practice and Theory Volume 15, Issue 3, pp. 354-362.
  15. Kolb, E. M., Lee, T., and Peck, J. (2007), "Effect of Coupling between Emergency Department and Inpatient Unit on the Overcrowding in Emergency Department", Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp. 1586-1593.
  16. Law, Averill M. (2003), *ExpertFit User's Guide*, Averill M. Law & Associates.
  17. Law, Averill M., and Kelton, W. David (1991), *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill Inc.
  18. Medeiros, D. J., Swenson, E., and DeFlicht, C. (2008), "Improving Patient Flow in a Hospital Emergency Department", Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, pp. 1526-1531.
  19. Miller, M., Ferrin, D, Ashby, M., Flynn, T., and Shahi N. (2007), "Merging Six Emergency Departments Into One: A Simulation Approach", Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp. 1574-1578.
  20. OptTek Systems, Inc. (2009), <http://www.opttek.com/> (검색일: 2009. 05. 07.).
  21. Swain, J. J. (2007), "New Frontiers in Simulation - Biennial survey of discrete-event simulation software tools", OR/MS Today, Vol. 34, No. 5, <http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-10-07/frsurvey.html> (검색일: 2009. 05. 07.).



**모 창우** (25time@atworth.co.kr)

2000. 8 한성대학교 산업공학과 (공학석사)  
 2000. 7~현재 (주)ATWORTH APS & SIM 사업부 팀장  
 2006. 3~현재 상명대학교 대학원 경영공학과 박사과정

관심분야 : 컴퓨터 시뮬레이션 이론 및 응용, APS, 서비스 및 물류 시스템



**최 성훈** (shchoi@smu.ac.kr)

1988. 2 KAIST 산업공학과 (공학석사)  
 2002. 8 KAIST 산업공학과 (공학박사)  
 2003. 9~현재 상명대학교 경영공학과 부교수

관심분야 : 컴퓨터 시뮬레이션 이론 및 응용, APS, 정보통신 시스템