

작업강도의 영향을 고려한 병원 응급실 시스템의 동적 시뮬레이션

김태현

연세대학교 경영대학 경영학과 교수
(*thkim@yonsei.ac.kr*)

문성암

국방대학교 국방관리대학원 부교수
(*samoon@kndu.ac.kr*)

최선미

연세대학교 경영대학 경영학과 조교수
(*sc129@yonsei.ac.kr*)

김해진

연세대학교 경영대학 경영학과 석사
(*haejini@yonsei.ac.kr*)

본 연구의 목적은 응급실의 운영 체계를 파악하고 시스템 다이내믹스 접근을 통하여 보다 현실적인 응급실 시뮬레이션을 구축하는 것이다. 연구의 목적을 달성하기 위하여 기존 연구에 대한 분석과 세브란스 응급진료센터와의 인터뷰를 실시하였다. 이를 통하여 응급실의 프로세스 및 운영 체계를 파악하고 이에 대한 예측 모델을 완성하였다. 기존의 연구에서 다루지 못했던 동적인 요소(작업강도)를 시뮬레이션에 가미하여 시스템을 분석하였다. 응급실의 기본 모델에 작업강도의 영향을 고려하여 타당성을 검증해 본 결과는 다음과 같다.

첫째, 작업강도의 영향을 시뮬레이션에 고려함으로써 작업강도가 실제 응급실 운영에도 영향을 주고 있음을 확인하였다. 응급실 내원환자의 수가 증가하게 되면 재실환자 수가 증가하고 이는 진료해야할 환자의 증가를 의미한다. 이로 인해 의료진의 작업강도가 높아지고 이러한 작업강도의 영향을 받아 의료진의 근무시간 및 환자 당 진료시간이 변화한다는 것을 확인하였다. 둘째, 작업강도가 실제 응급실 의료진에게 주는 영향 정도를 파악하기 위해 추가적인 시뮬레이션을 실행한 결과, 응급실의 의료진은 40% 수준의 Oliva 함수를 적용하는 것이 가장 타당하다는 결론을 내릴 수 있었다.

본 연구는 이러한 동적인 요소를 가미하여 시스템 중심으로 운영 체계를 분석함으로써 기존의 개체 중심의 분석 방법에서는 표현하지 못했던 작업 강도의 영향 정도를 현실에 맞게 적용할 수 있었다는 점에서 의미를 가질 수 있다. 비록 본 연구는 세브란스의 응급진료센터에 초점을 두어 이루어졌지만, 연구 과정이나 분석 방법은 타병원의 응급실 운영 체계를 예측하고 분석하는데 유용하게 이용될 수 있다. 그 뿐 아니라 기존의 정태적인 분석을 위주로 한 병원, 은행 창구, 공장, 생산 라인, 서비스업 등에서의 인원배치나 설비 능력을 계산할 때에도 작업강도에 대한 효과나 성과 분석 등의 동태적인 분석이 이루어질 경우 보다 현실적이고 정확한 예측 모델을 구축할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 내원환자 수의 변화, 입원대기에 대한 시스템의 변화 등 관련 요인들의 변화를 모델에 추가적으로 고려함으로써 운영 체계에 대한 개선안을 평가하거나 이에 대한 의사 결정을 위해 효과적으로 예측 모델을 이용할 수 있을 것이다.

주제어: 응급실, 작업강도, 시스템 다이내믹스, 시뮬레이션, 운영 체계

I. 서론

급속한 경제성장과 더불어 도시화, 산업화가 빠른 속도로 진행되면서 교통사고, 산업재해, 각종 약물 중독환자 및 급성질환 환자가 증가하고 있다. 이와 더불어 인구 고령화 현상이 가속화됨으로써 뇌혈관 질환, 심혈관계 질환 등이 많아지고 있어 응급의료에 대한 수요는 급증하고 있다.

이러한 현상으로 현재 대다수의 대학병원 및 3차 의료기관의 응급진료센터에서는 환자 적체 현상이 일어나고 있다(김미라, 2004). 환자 적체는 중환자의 치료 뿐 아니라 경환자의 진료에도 영향을 미쳐 응급실을 내원하는 환자에게 만족할 만한 진료를 실시하지 못하게 된다. 한국소비자보호원조사 결과(2001), 응급실 내원환자 중 59%가 도착 후 즉시 치료를 받지 못하는 것으로 나타났다. 진료 지체 이유는 먼저 도착한 환자 치료(40%), 응급실 담당의사 부재(17.4%), 행정수속(17.4%) 등이다. 결국 이러한 응급실 과부하로 응급환자의 대기시간이 길어지고 대기시간의 지연은 병원 경쟁력 저하로 연결된다. 이러한 상황을 극복하기 위해 갖가지 대안들이 마련되고 있다. 의료진의 수를 늘린 다거나, 행정 수속의 속도를 높이기 위해 행정 절차를 전산화하는 활동이 그 대표적인 예이다. 물론 의료 공급 수준을 높이는 것은 응급실 시스템의 개선을 위한 가장 기본적인 방법이지만, 이 과정에서 중대한 시행착오를 거칠 가능성이 높다. 응급실 내원환자의 분포는 일정한 패턴을 유지할 수는 있으나 그 변화를 정확히 예측하는 일은 불가능하기 때문이다. 이러한 일련의 과정을 사전에 분석하여 시행착오를 줄이기 위해서는 보다 현실적인 분석을 통한 시뮬레이션 모델의 구축이 요구된다. 이러한

시뮬레이션 모델의 구축은 병원이 응급실의 문제점을 능동적이고 효율적으로 대처하기 위한 합리적인 개선 방안을 도출하기 위한 필수적인 도구로 인식된다.

이에 본 연구는 세브란스 응급진료센터의 예를 통해 병원 응급실의 운영 체계를 파악하여 시뮬레이션 모델을 개발하고자 한다. 또한 기존의 연구에서 다루지 못했던 동적인 요소를 가미하여 시스템을 분석하고자 한다. 대표적으로 작업강도가 고려된 응급실 시뮬레이션 모델을 들 수 있다. 일반적으로 의사들은 대기하고 있는 응급환자가 많을 경우 작업 스피드를 높이고, 환자가 적으면 작업 스피드를 낮추게 된다. 이는 시간에 따라, 응급 시스템이 처한 상황에 따라 다르게 작용한다. 이러한 동적인 상황이 결여된 모델을 통한 분석 결과는 분명 현실과는 차이가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 요소를 고려하여 보다 동태적이고 현실적인 모델을 소개하고자 한다. 즉, 어떤 가설을 수립하고 검증하기 보다는 현실적이고 예측력 높은 시뮬레이션 모델을 찾는 것이 이 연구의 목적이다.

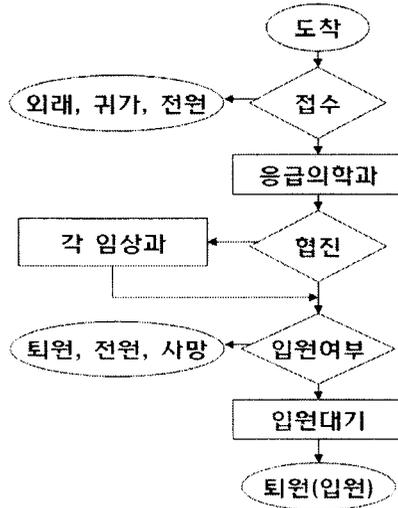
II. 이론적 배경

2.1 응급실 현황 분석

- 응급실 업무흐름도

〈그림 1〉은 응급진료센터에서 환자의 도착부터 퇴원까지의 과정을 나타낸 업무흐름도이다(세브란스 응급진료센터 보고서, 2004).

〈그림 1〉 응급진료센터 업무흐름도



(퇴원: 응급실 퇴원, 입원: 병실 입원)

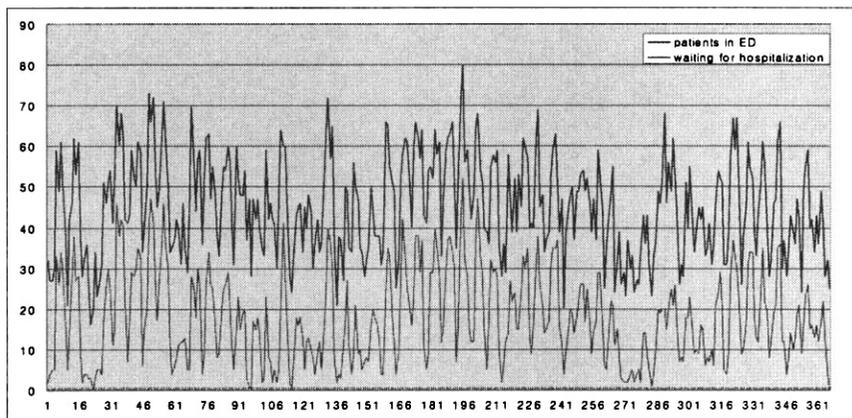
- 1) 환자가 응급진료센터에 도착하면 예진을 통해 환자의 상태를 파악한다. 환자의 상태와 응급실 내의 환자 수에 따라 접수여부가 결정된다. 응급실 접수가 결정된 환자는 원무과 수속을 마친 후 응급실 내로 접수하고, 그렇지 않은 환자는 응급실 퇴원을 하거나 외래, 전원 조치가 이루어진다.
- 2) 응급실 내로 접수된 환자는 응급의학과 의료를 받고 인턴 및 간호사들로부터 처치를 받는다. 별도의 검사가 요구되지 않는 경우 간단한 치료 후 환자의 상태에 따라 응급실 퇴원 및 병실 입원을 결정하게 된다. 그리고 각 임상과의 검사가 필요하거나 담당과의 검진이 필요한 경우에는 각 임상과 및 전공과의 협진을 통해 검사·검진을 시행한다. 그 후 환자의 검진 결과에 따라 응급실 퇴원 및 병실 입원을 결정하게 된다. 응급실 퇴원은 귀가 또는 전원이 이루어진 환자를 의미한다.

- 3) 입원이 결정된 환자들은 병실 입원 결정서를 발부 받아 원무과 수속을 마친 후 입원실 배정이 이루어질 때까지 응급실에서 대기하게 된다. 응급실 내에서 대기하던 환자는 입원실이 배정되는 대로 입원이 이루어지게 되며 이러한 병실 입원 역시 응급실 퇴원에 해당한다.

- 응급실 운영

응급실 운영에 있어서 인력과 시설 못지않게 중요한 것은 효율적인 운영이다. 응급실을 효율적으로 운영하기 위해서는 환자가 응급실에서 머무는 시간을 줄이는 것이 급선무이다(서울대학교 병원보, 1998). 채용시간이 길어지면 응급진료 후에도 각 환자에 대한 처치가 계속 이루어져야 하기 때문에 의료진의 업무가 가중됨은 물론 기존 체류환자로 인해 진정한 응급환자에 대한 대처가 어려워지기 때문이다. 이에 따라 중환자의 치료뿐만 아니라

〈그림 2〉 세브란스 응급진료센터의 입원 적체 현상



가로축: 시간(일), 세로축: 환자수(명)

경환자의 진료에도 영향을 미쳐 응급실을 내원하는 환자에게 만족할 만한 진료를 실시하지 못하게 되며 응급진료의 어려움은 더욱 가중된다(Shapiro, 2004).

응급실 재원시간이 길어지는 것은 입원해야 할 응급환자에게 돌아갈 병실이 부족한 것이 가장 큰 이유이다(최명심, 2000). 〈그림 2〉에서 알 수 있는 것처럼 응급실 환자수의 상당 부분을 입원을 위한 대기 환자들이 차지한다. 또한 응급실 내 입원대기 환자의 적체가 그대로 응급실 환자 적체로 이어지고 있음을 관찰할 수 있다(세브란스 응급진료센터 보고서, 2004). 이러한 응급실 내 환자 적체로 새롭게 병원을 찾은 응급환자의 진료가 지연됨으로써 응급 진료의 가장 중요한 요소인 신속성이 저해되고 있다(한국소비자보호원, 2001).

2.2 응급실 시뮬레이션에 대한 기존 연구

컴퓨터 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션은 환자의 흐름에 대한 분석을 위한 의료 센터의 유용한

관리적 기법으로 이용된다(Mahachek, 1992 & Bressan, 1988). 응급실 시뮬레이션은 응급실을 개선하기 위해 필요한 최적의 통제 전략을 테스트 하는데 사용되며 환자의 흐름, 의료진의 배치, 서비스 절차, 의료 설비를 고려하여 구성한다(Smith, 1995). 의료에 대한 시뮬레이션이 발표된 연구는 의료 설비 계획(Dumas, 1984)과 의료진 계획(Ishimoto, 1990)에 대한 것이었다(Smith, 1995). Dumas는 병상의 위치와 유용한 절차에 대한 상세한 평가를 수행하기 위해 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 모델을 사용함으로써 병상의 배치 방법이 개선되거나 최선의 상태로 재배치될 수 있었다(Dumas, 1985). Ishimoto는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 병원 약국의 처방전 수와 환자의 대기 시간을 추정하여 필요한 의료진을 예측하였다. 이러한 컴퓨터 시뮬레이션은 의료 시설의 증가하는 업무와 제한된 의료진에 대한 관리에 효과적으로 이용되고 있다(Ishimoto, 1990).

Saunders, Makens, Leblanc(1989)의 연구는 응급실 시뮬레이션에 대한 대표적인 연구다. 응

급실 운영에서의 컴퓨터 시뮬레이션은 대안에 대한 현장 검증 없이도 대안에 대한 결과를 예측할 수 있도록 돕는 유용한 수단이며, 의료의 효율성과 질을 향상시키는 역할을 한다(Saunders, 1989). Saunders의 모델은 각 환자가 개인별 간호사와 의사에게 할당되고 기본적인 검사, 처치, 진찰을 통합하여 서비스 절차가 연속적이고 반복적으로 이루어지도록 하였다. 그리고 의사, 간호사, 병상을 포함한 입력 데이터가 환자의 체류 시간, 대기 환자의 수, 자원 이용률에 대한 그들의 시뮬레이션 효과를 체계적으로 반영하도록 변화시켰다. 환자의 체류 시간은 서비스 시간에 비례하고 의사 및 간호사의 수에 반비례 한다. 이 시뮬레이션은 환자의 응급실 이동 경로를 애니메이션을 통해 보여준다(Saunders, 1989). 한편 Smith의 연구는 병원 응급실의 불연속적 사건의 확률적 시뮬레이션을 이용하여 응급실 개설 시간의 평균과 분산을 측정함으로써 응급실의 성과를 측정하였다. 이러한 응급실에 대한 시뮬레이션 연구에서 환자의 흐름은 각 개체(entity)를 중심으로 연구되었다(Smith, 1995).

응급실의 운영 개선을 위해서는 의료진의 업무 변화에 따른 변화를 계속적으로 평가하는 것이 중요하다(Manuel, 1999). 그러나 개체를 중심으로 이루어졌던 기존의 응급실 프로세스에 대한 시뮬레이션 연구에서는 업무 변화에 따른 의료진의 피로도 및 행동 변화에 대한 고려가 결여되어있다(Manuel, 1999). 시뮬레이션을 보다 현실적으로 타당하게 만들기 위해서는 동태적인 요소에 대한 고려가 필요하다(Sterman, 2000). Oliva는 서비스업의 인력이 받는 작업강도(Schedule Pressure)의 영향에 대해 연구하였다. 그는 1996년 주요 은행에서 직원들의 실제 업무 현장을 1년간 조사하

여 이들 사이의 함수 관계를 도출하였다. 이는 작업강도의 영향이 근무 주간과 과업 당 시간에 어떠한 변화를 주는지에 대해 나타낸다(Sterman, 2000). 또한 주어진 업무를 해결하기 위하여 작업강도가 증가하면 작업자는 근무 주간을 증가시키고 과업 당 시간을 감소시킨다. 반대로 작업강도가 감소하면 작업자는 근무 주간을 감소시키고 과업 당 시간을 증가시키면서 업무를 수행한다(Oliva, 1996). 이러한 작업강도의 영향은 응급실 운영에서도 나타날 것으로 예상되며, 본 연구에서는 작업강도 등의 동적인 요소를 고려하여 보다 현실적인 시뮬레이션 모델을 개발하고자 한다.

III. 시뮬레이션 모델링 및 타당성 검토

3.1 시뮬레이션 모델

본 연구는 <표 1>에서와 같이 먼저 문헌연구와 세브란스 응급의학과와의 인터뷰를 통해 병원 응급실의 운영 체계를 이해하고 응급실 시스템의 구성 요인들을 파악하였다. 이에 기존 연구에서 다루지 못했던 동적인 요소(작업강도)를 가미하여, Vensim을 이용한 응급실 운영 시뮬레이션 모델을 개발하였다. Oliva의 작업강도의 영향에 대한 함수를 조정하여 실제 의료진에게 적합한 작업강도의 영향 정도를 파악하였다. 작성된 모델의 타당성 여부를 검토하기 위하여 통계 분석을 실시하였다. 이를 통해 응급실 운영 체계에 대한 정교한 예측 모델을 개발하였다.

응급실의 환자 흐름은 각 요인과의 피드백 관계를 구성하며 다양한 인과 관계 루프로 구성되기 때

〈표 1〉 연구방법 개관

단계	연구내용
1단계: 문헌연구	<ul style="list-style-type: none"> • 응급실 운영 체계 파악 • 기존 응급실 모델 고찰
2단계: 시뮬레이션 모델	<ul style="list-style-type: none"> • vensim을 이용한 응급실 시뮬레이션 모델링 • 의료진에 적합한 작업강도 수준 파악
3단계: 모델 타당성 검토	<ul style="list-style-type: none"> • 통계적 분석을 통한 모델의 타당성 검증

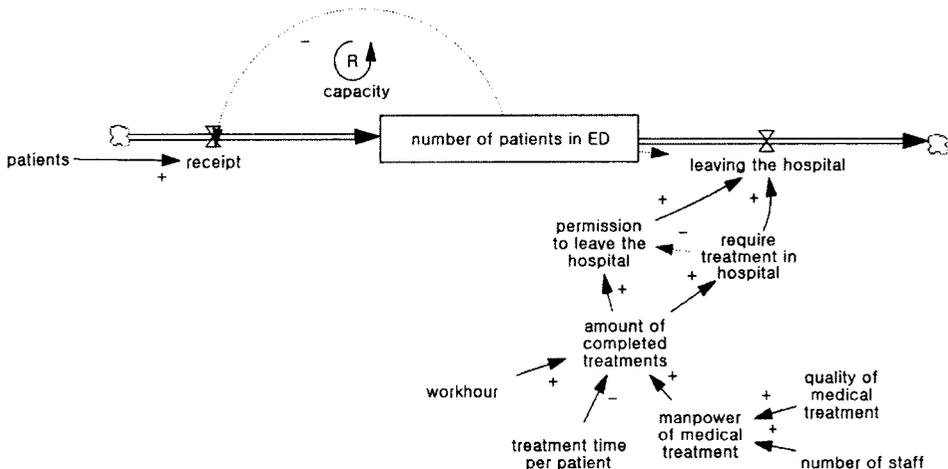
문에 시스템 다이내믹스 접근을 이용하는 것이 적합하다(Streman, 2000). 따라서 시스템 다이내믹스를 반영하는 소프트웨어인 Vensim을 이용하여 세브란스 병원의 응급 진료 센터를 중심으로 병원 응급실의 운영 체계를 모델링하였다. 모델 전체의 시간은 1년에 대해 실시하였으며 시(hour)를 기준으로 하였다. 세브란스 응급실의 2004년 내원환자 36,340명의 데이터를 시뮬레이션에 활용하였다.

응급실 운영시스템의 기본구조는 〈그림 3〉과 같다. 응급실 내에 존재하는 환자의 수는 응급실 내 원환자 중 실제로 접수되는 환자의 유입과 치료가

완료되어 퇴원하는 환자의 유출로 결정된다. 응급실 재실환자 수(number of patients in ED)는 〈식 1〉과 같이 접수(receipt)에서 퇴원(leaving the hospital)을 빼고 이를 적분한 후 초기 값을 더하여 결정된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{number of patients in ED(명)} \\
 & = \text{INTEGRAL} \\
 & (\text{receipt} - \text{leaving the hospital}, \\
 & \text{initial value})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

〈그림 3〉 Base model



내원환자(patients)는 시간대별로 다르게 발생한다. 본 연구에서는 이를 시뮬레이션에 반영하기 위해 각 시간대별 내원환자에 대한 data의 분포를 파악하였다. 각 data에 가장 알맞은 분포를 결정해 주는 소프트웨어(BestFit)를 이용하여 각 시간대별 내원환자의 분포를 파악하였다. 그 결과 <그림 4>와 같이 모델의 내원환자 분포는 정규 분포에 가장 근접하였다.

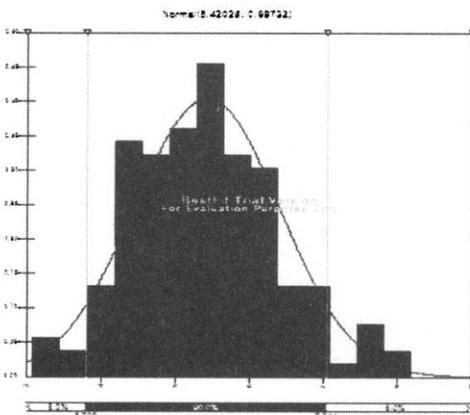
이와 같이 응급진료센터는 응급실 재실환자 수에 따라 내원환자(patients)의 전원 혹은 일부를 접수한다. 세브란스의 경우, 현재 응급실의 재원환자 수(number of patients in ED)를 기준으로 하여 일반적으로 70명 선에서부터 접수를 제한하고 80명이 넘으면 접수 전체를 중단한다. 단 이럴 때에도 심폐정지 환자나 쇼크 환자는 접수하여 진료하게 된다. 세브란스의 2004년의 내원환자 전체 기록을 통해 분석한 결과, 재원 환자가 70명에서 80명 사이인 경우 응급실 접수율은 약 50%로 나타났다. 또한, 재원환자가 80명을 넘어서는 경우의 접수율은 약 26%로 나타났으며, 이것은 한국소비자보호원(2001)이 조사한 응급실 내원환자 중

시 진료가 필요한 긴급환자의 비율과 동일하였다. 응급실에서의 재원 환자 수는 하루 동안에도 상당히 심하게 변하기 때문에 시간대별로, 재원환자 수의 수준별로 다른 접수율을 대입하는 것이 타당하다. 이것을 적용하여 시간별 접수환자 수(receipt)를 나타낸 것이 <식 2>이다. 접수 여부를 결정할 때 재실환자의 수를 고려함으로써 응급실의 수용력을 조절하는 역할을 한다.

$$\begin{aligned}
 receipt(\text{명}/\text{hour}) = & \\
 & IF \ THEN \ ELSE(\text{number of patients} \\
 & \quad \text{in } ED < 70, \text{ patients}, \\
 & \quad (IF \ THEN \ ELSE(\text{number of patients} \\
 & \quad \text{in } ED < 80, \text{ patients} \times 0.5, \text{ patients} \times 0.26)))
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

퇴원(leaving the hospital)은 <식 3>과 같이 병실 입원 환자(permission to leave the hospital)와 응급실 퇴원 환자(require treatment in hospital)를 더한 후 이것을 재실환자 수(number of patients

<그림 4> 내원환자 분포



	Fit	Input
Function	RiskNormal(5.42028, 0.98732)	N/A
m	5.420278154	N/A
s	0.987316539	N/A
Left X	3.796	3.796
Left P	5.00%	3.47%
Right X	7.044	7.044
Right P	95.00%	95.14%
Diff. X	3.248	3.248
Diff. P	90.00%	91.67%
Minimum	-Infinity	3.0833
Maximum	+Infinity	8.2083
Mean	5.42028	5.4203
Mode	5.42028	5.0440 [est]
Median	5.42028	5.4075
Std. Deviation	0.98732	0.98732
Variance	0.97479	0.96802
Skewness	0	0.3258
Kurtosis	3	3.1119

in ED)와 비교하여 그 중 작은 값으로 결정한다. 이 식은 퇴원이 응급실 재실환자 수를 초과하지 못하도록 제어하는 역할을 한다. 현실적으로 응급실의 환자 수는 음수가 될 수 없기 때문에 이 식을 통해 응급실의 재실환자 수가 0 이하가 되는 것을 방지한다.

$$\begin{aligned} \text{leaving the hospital(명/hour)} = \\ \text{MIN(permission to leave the hospital} \\ + \text{require treatment in hospital,} \\ \text{number of patients in ED)} \end{aligned} \quad (3)$$

응급실 내에서 환자의 진료가 완료된 환자는 응급실 퇴원 및 병실 입원으로 분류된다. 입원 환자와 퇴원 환자의 비율은 매시간 일정하게 나타나는 것이 아니므로 실제 data를 통해 각 시간대별로 입원 환자와 퇴원 환자의 비율을 파악하고 이들의 분포 특성을 파악하였다. 앞서 내원환자 분포를 결정하는데 이용하였던 Best-Fit을 이용하여 입원 결정 함수가 가지는 분포를 결정하였다. 실제 입원 결정 환자수의 데이터가 정규분포와 가장 근사한 것으로 파악하고 이를 이용하여 입원 결정을 산출한다. 또한 퇴원 결정은 진료 완료량에서 입원결정을 뺀 나머지가 된다.

진료 완료량(amount of completed treatments)은 <식 4>와 같이 응급진료센터의 진료능력(manpower of medical treatment)과 의료진의 근무시간(working hour)을 곱한 값에 환자 한 사람을 치료하기 위해 필요한 시간(required time per patient)을 나눈 값으로 산출된다. 응급진료센터의 진료능력은 응급진료센터 의료진의 의료 수준과 의료진 수로 결정된다.

$$\begin{aligned} \text{amount of completed treatments(명/hour)} \\ = \frac{(\text{manpower of medical treatment} \times \text{working hour})}{\text{required time per patient}} \end{aligned} \quad (4)$$

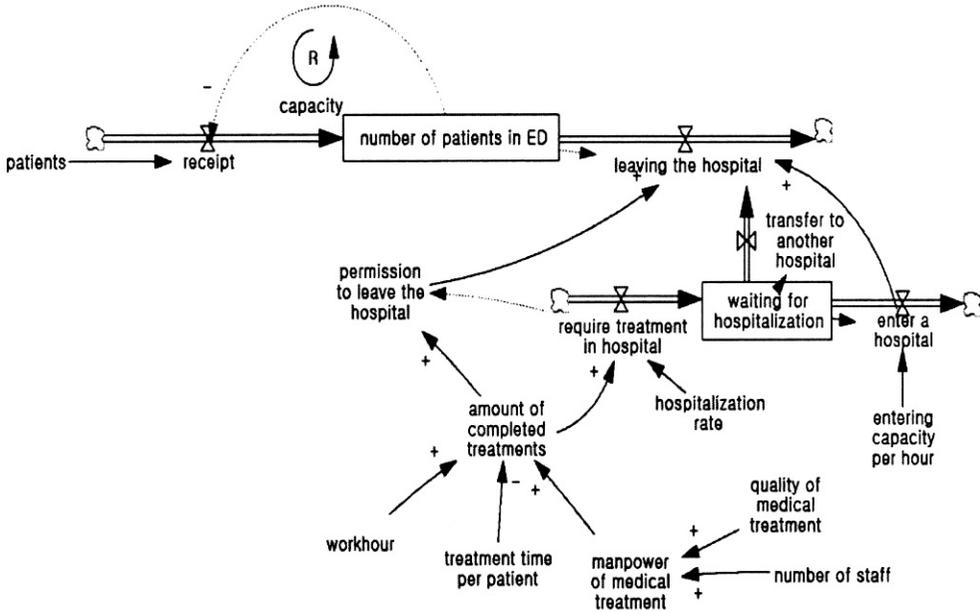
이론적 배경에서 언급한 바와 같이 입원실 부족으로 인한 입원대기 환자의 수는 응급실 적체에 영향을 주는 가장 중요한 요인이다. 그러므로 응급실 시스템을 보다 실제 시스템에 가깝게 모델링하기 위해서는 입원대기를 시뮬레이션에 정확히 반영하는 것이 중요하다. 입원이 결정된 환자는 입원 처리가 이루어질 때까지 응급실 내에서 입원하기 위해 대기한다. 입원결정 환자는 입원대기를 거쳐 입원실 내 여분의 병실이 생기는 대로 응급실 퇴원 환자 수에 포함시킨다. 이러한 과정을 기본 모델에 추가적으로 반영한 모델이 <그림 5>이다.

입원대기(waiting for hospitalization)는 <식 5>와 같이 입원결정(require treatment in hospital)과 입원(enter a hospital)의 차에 전원 환자 수(transfer to another hospital)를 뺀 값으로 계산할 수 있다. 전원 환자는 입원 지연으로 인해 응급실 대기 시간이 길어짐에 따라 일부 환자가 다른 병원으로 옮겨가는 환자의 수를 의미한다.

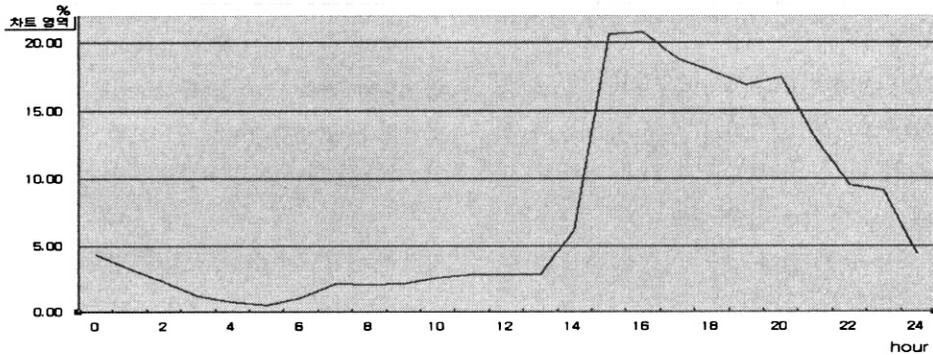
$$\begin{aligned} \text{waiting for hospitalization(명)} \\ = (\text{require treatment in hospital} \\ - \text{enter a hospital}) \\ - \text{transfer to another hospital} \end{aligned} \quad (5)$$

입원 환자의 분포는 <그림 6>과 같이 시간대별로 차이를 보이고 있다. 이는 입원이 병원의 여유 병실 수, 원무과의 입원 결정 시기 등에 따라 일정한

(그림 5) Model: including waiting for hospitalization



(그림 6) 시간대별 입원 환자 분포



시간대에 집중되어 이루어지기 때문이다. 본 연구에서는 실제 data에서 시간대별 입원 대기 환자에 대한 입원 환자의 비율을 계산하여 모델의 입원 값에 대입함으로써 시간에 따른 입원환자 수의 차이를 모델에 반영하였다.

응급실의 재실환자 수는 병원에 따라, 시간에 따

라 다르다. 대부분의 대형 병원 응급진료센터는 병상 수 이상의 환자가 치료를 받고 있다. 외래진료의 경우 진료시간이 끝나면 치료를 중단하고 일반 병실의 경우 입원 병상이 다 차면 입원을 중단한다. 또한 환자들 역시 이러한 상황을 충분히 납득하여 환자 수에 대한 조절이 가능하다. 그러나 응

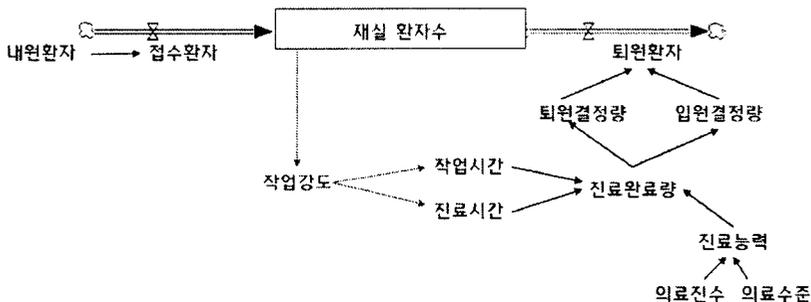
급진료센터에서는 응급실의 특성상 환자의 진료를 중단하거나, 입원을 중단하는 것은 극히 제한적인 일이다. 그리하여 응급진료센터의 재실환자 수가 병상 수를 넘는 일이 자주 발생하게 된다. 반대로, 평일 오전의 경우는 일반 외래를 이용할 수 있기 때문에 응급실 환자 수가 심야나 주말보다는 줄어든다. 이처럼 응급진료센터의 재실환자 수는 하루 동안에도 심하게 변한다. 이러한 상황에도 불구하고 응급진료센터를 찾는 환자들의 경우 대부분 긴급한 진료가 요구되는 환자이므로 의료진은 이러한 환자 수의 잦은 변화에 적절하게 대처하여야 한다.

응급실 시스템에서 재실환자 수가 병상 수 이상으로 증가하면 평상시보다 처리해야 할 환자수가 증가하고 이러한 환자들의 적체로 의료진의 작업강도가 높아진다. 이 때 재실환자 수의 적체 현상은 내원환자의 접수율을 낮추고 이는 응급 환자의 생명에 치명적인 영향을 줄 수도 있다. 그러므로 응급실에서는 이를 해결하는 것은 무엇보다 중요하다. 이를 해결하기 위해 선택할 수 있는 방법은 크게 3가지로 정리된다. (1) 의료진의 수를 늘려서 응급실 진료 능력을 증가 시킨다. (2) 환자 한명을 진료하기 위해 소요되는 시간을 단축한다. (3) 근무시간 중 휴식을 줄여 실제 근무 시간을 최대한 활

용한다.

그런데 응급실 운영에서 의료진의 수를 늘리는 것은 큰 폭으로 증감하는 응급실의 환자 수에 대처하기 위한 적절한 방법이 아니다. 환자의 수가 병상 수 이상으로 증가한 경우에는 의료진의 수를 증가시키므로써 이를 해결할 수 있지만 이와 반대로 환자의 수가 평균 이하로 떨어지는 경우에는 여유 인력이 발생하여 효율성이 떨어지게 되기 때문이다. 또한 이러한 방법은 응급실 밖의 타 전공과 및 행정과와의 협의가 필요한 일이므로 실제 응급실 운영에 있어서 쉽게 이용되지 않는다. 의료진 수의 조정은 일시적인 환자 적체가 아닌 환자 부족의 경우를 포함한 장기적인 응급진료센터의 상황을 잘 파악하여 신중하게 이루어져야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 방법 (2), 방법 (3)이 응급실 의료진에 의해 실제 이용되고 있음을 사전 인터뷰와 문헌 조사를 통해 확인하였다. 방법 (2)는 의료진의 진료를 응급조치에 필수적인 진료만으로 제한하여 평상시보다 환자 한명의 진료에 소요되는 시간을 줄임으로써 진료 능력을 향상시키는 것을 말하며 방법 (3)은 근무시간 내 의료진의 휴식을 줄여 주어진 시간을 최대한 활용함으로써 진료 속도를 향상시키는 것을 말한다. <그림 7>은 응급실 내에서의 이러한 인과 관계를 간단히 표현한 것이다.

<그림 7> 응급실 운영에 대한 인과지도



〈그림 8〉은 〈그림 5〉의 모델에 작업강도의 영향을 추가한 모델이다. 루프 B1은 작업강도의 영향에 따라 변화되는 환자 당 진료 시간을 고려한 루프이며, 루프 B2는 작업강도의 영향에 따라 변화되는 의료진의 근무 시간을 고려한 루프를 표현한 것이다.

진료 요구량(amount of required treatments)은 1시간 동안 진료해야 할 환자의 수를 나타낸다. 이는 〈식 6〉과 같이 재실환자의 수(number of patients in ED)에 진료 요구 시간(required treatment time)을 나누어 구한다. 진료 요구 시간은 의료 질 관리(QA) 차원에서의 응급실 환자의 적정 재원 시간인 6시간을 적용한다(서울대학교 병원보, 1998).

amount of required treatments(명/hour)

$$= \frac{\text{number of patients in ED}}{\text{required treatment time}} \quad (6)$$

작업강도(schedule pressure)는 〈식 7〉과 같이 기준이 되는 표준 진료량(standard amount of completion)에 대한 진료 요구량(amount of required treatments)의 비율로 산출된다. 표준 진료량은 현재의 의료진 수와 환자 당 진료시간을 기준으로 시간 당 완료 가능한 진료량을 말한다. 의료진의 수는 세브란스 응급진료센터의 평균 근무 인원수를 이용하였다.

schedule pressure

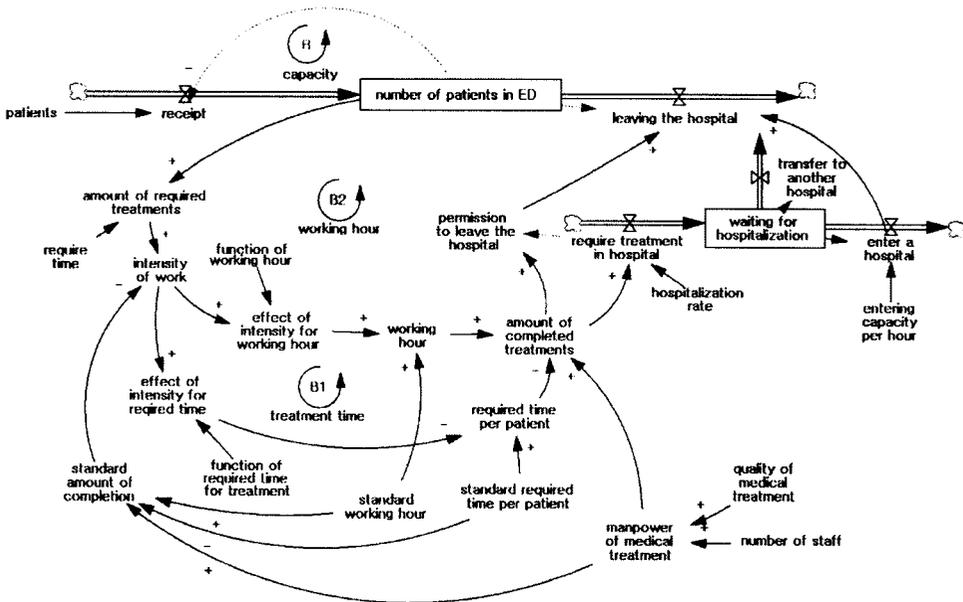
$$= \frac{\text{amount of required treatments}}{\text{standard amount of completion}} \quad (7)$$

effect of schedule pressure on time per patient

$$= \text{function of treatment time} \quad (8)$$

(schedule pressure)

〈그림 8〉 ED model



effect of schedule pressure on workhour

= *function of workhour*(*schedule pressure*)

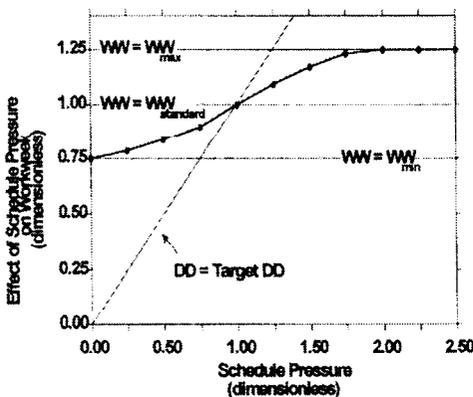
(9)

환자 당 진료시간에 대한 작업강도의 영향(effect of schedule pressure on time per patient)과 의료진의 근무시간에 대한 작업강도의 영향(effect of schedule pressure on workhour)은 환자 당 진료시간과 의료진의 근무시간이 작업강도의 영향을 받는 정도를 나타내는 함수이다. 따라서 <식 8>과 <식 9>는 이들과 작업강도와의 함수 관계에 의해 결정된다. 작업강도는 환자 당 진료시간과 음의 함수 관계를 갖고, 의료진의 근무시간과는 양의 함수 관계를 갖는다. 이와 같은 작업강도의 영향은 실제 응급실 상황에 대한 현장조사나 기존의 연구자료에서 함수관계를 도출하여 적용하는 것이 이상적이지만 현장 조사를 실시하는 것은 현실적으로 어려움이 따른다. 또한 기존의 연구에서도 작업강도가 실제 업무에 주는 영향에 대해 구체적인 함수 관계가 정립되어 있지 않다. 이에 본 연구에서는 시스템 다이내믹스를 통해 도출한 Oliva의 작업강도

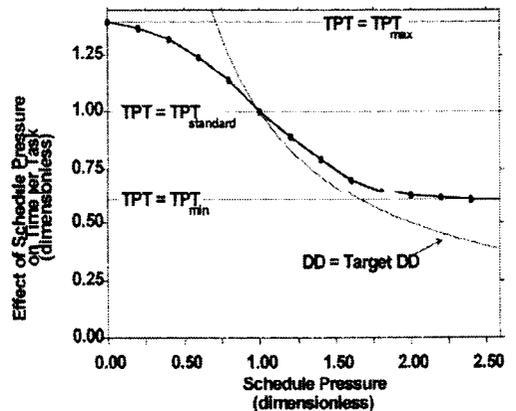
의 영향에 대한 함수를 적용하였다(Oliva, 1996). 올리바 함수는 작업강도와 작업 스피드간의 관계를 규명한 것이다. 이는 일반적으로 작업자가 해야 할 일이 많을 경우 작업 스피드를 높이고, 해야 할 일이 적은 경우에는 작업 스피드를 떨어뜨리는 관계를 나타내고 있다.

<그림 8>, <그림 9>는 Oliva가 도출한 테이블 함수를 그래프로 나타낸 것이다. <그림 8>는 주간 작업시간에 대한 작업강도의 영향을 나타낸다. 가로축은 작업강도이며 세로축은 주간 작업시간에 대한 작업강도의 영향정도를 나타낸다. 기준점은 작업강도와 영향정도가 모두 '1'이 되는 (1, 1) 지점이며, 영향정도의 상·하한은 ±25%이다. 본 연구에서는 시간을 기준으로 시뮬레이션을 설계하였기 때문에 하루 중 추가 작업시간이 대신 1시간의 근무시간 중 시간을 최대한 활용하여 진료에 가담하는 정도를 의료진의 근무시간으로 설정하였다. 그러므로 응급실 시뮬레이션에서는 작업강도가 높아지더라도 근무시간이 1시간 이상으로 증가할 수 없다. 그리고 <그림 9>는 작업 당 소요인시에 대한 작업강도의 영향을 나타낸다. 가로축은 작업강도이며 세로

<그림 9> 주간 작업시간에 대한 작업강도의 영향



<그림 10> 작업 당 소요인시에 대한 작업강도의 영향



축은 작업 당 소요인시에 대한 작업강도의 영향정도를 나타낸다. 기준점은 작업강도와 영향정도가 '1'이 되는 (1, 1)이며, 영향정도의 상·하한은 $\pm 40\%$ 이다. Oliva 함수에서의 작업 당 소요인시는 응급실 시뮬레이션의 환자 당 진료시간을 의미한다.

본 연구에서는 작업강도의 영향정도에 대해 임의의 Oliva 함수를 적용해 기본 모델을 완성한 후, 실제 응급실에서의 환자 당 진료시간에 대해 작업강도가 영향을 미치는 정도를 파악하기 위해 작업강도 영향 정도의 상·하한을 $\pm 25\%$, $\pm 30\%$, $\pm 35\%$, $\pm 40\%$, $\pm 45\%$, $\pm 50\%$, $\pm 55\%$ 로 각각 조절하여 시뮬레이션 결과를 얻는다. 이 중 실제 응급실의 데이터와 가장 잘 부합하는 작업강도 수준을 도출하여 실제 응급진료센터의 의료진에게 가장 적합한 작업강도의 영향 정도를 파악해낸다.

3.2 모델의 타당성 평가

시뮬레이션에서 가장 중요한 것은 현실과 동일한 모델을 구축하는 것이다. 그러나 현실에 적용되는 모든 요소들을 모델에서 정확히 반영하는 것은 어려운 일이다. 하지만 모델의 구조와 형태가 현실의 상황을 크게 벗어난다면 그 모델을 이용한 시뮬레이션 역시 현실과는 동떨어진 결과를 나타내게 된다. 그러므로 시뮬레이션 모델이 현실과 잘 맞는지 여부에 대한 타당성 평가가 무엇보다 중요하다. 시스템 다이내믹스 모델의 타당성을 평가하기 위한 여러 가지 방법 중 본 연구에서는 극한조건 평가, 민감도 분석, 준거모드와의 비교를 실시한다.

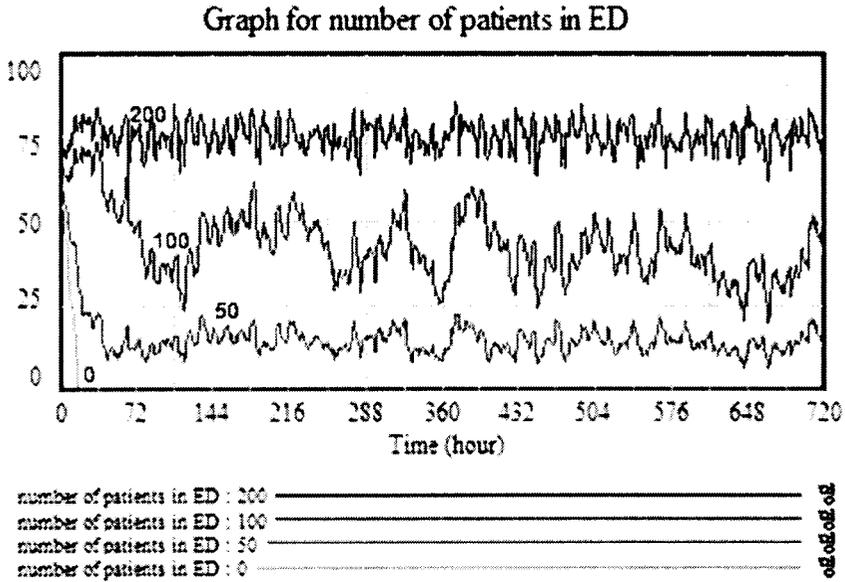
극한조건 평가를 우선 살펴본다. 모델의 극한 조건 평가는 시스템에 영향을 미치는 변수가 극단적으로 변화할 때에도 모델이 정상적인 형태를 유지하는지에 대한 강건성(robustness)을 평가하는 것

이다. 본 연구에서는 내원환자의 수를 극단적으로 변화시켰을 때에도 응급실 시스템이 안정적으로 작동하는지 살펴본다.

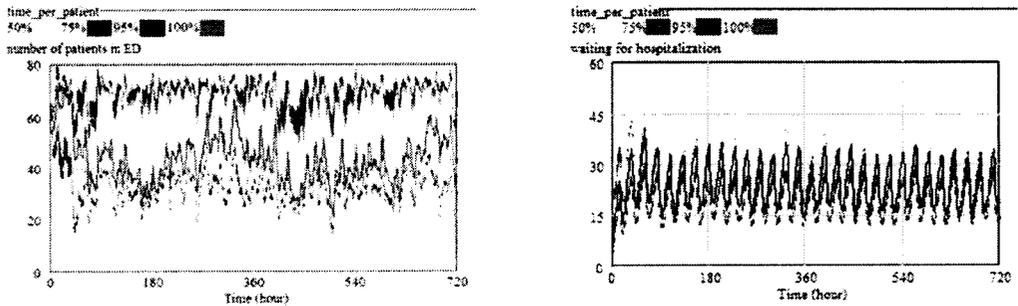
〈그림 9〉는 내원환자수를 세브란스 데이터를 기준으로 0%, 50%, 100%, 200%씩 증감시켰을 때의 결과를 나타낸다. 내원환자의 수가 0%가 된다는 것은 내원환자가 0명 인 상황을 의미하며 이 경우에는 진료할 환자도 발생하지 않기 때문에 재실환자가 점차 감소하여 결국 재실환자의 수가 0에 수렴해야 한다. 또한 내원환자의 수가 50%로 줄어들면 재실환자 수도 그만큼 줄어들어야 하며, 내원환자의 수가 200%로 급증하게 되면 재실환자 수 역시 증가하게 된다. 하지만 이 경우에도 재실환자의 수를 고려하여 접수량을 제한하였기 때문에 재실환자의 수는 일정 수준에서 균형을 이루어야 한다. 즉, 시뮬레이션의 모델이 올바르게 구축되었다면 재실환자는 0이하로 감소하거나 무한정 증가하는 일 없이 일정한 구간 사이에서 균형을 이루어야 한다. 본 연구에서 구축된 시뮬레이션 모델은 각 극한 조건에서도 일시적인 변동 이후 균형 상태를 유지하고 있어 재실환자 수가 정상적인 형태를 나타내고 있음을 〈그림 9〉에서 확인할 수 있다. 이를 통해 본 모델은 강건성을 확보하였다.

어떤 결과를 예측하기 위한 독립 변수가 불확실성에 의해 변화될 때 이와 관련한 값이 어떻게 변하는가를 검토하기 위해 민감도 분석을 하게 된다. 독립 변수의 변화에 대해 그 결과가 실제로 타당한 변화를 나타내게 되면 그 모델은 실제 현상을 잘 반영한다고 볼 수 있으므로 모델은 타당하다고 할 수 있다(Sterman, 2000). 〈그림 11〉, 〈그림 12〉는 표준 진료시간과 의료진 수를 각각 변화시켰을 때 재실환자 수와 입원대기 환자수가 어떻게 변하는가를 보여주는 그래프이다. 실제로, 표준 진료시

〈그림 11〉 내원환자 수의 변화에 따른 극한조건 평가



〈그림 12〉 환자 당 진료시간의 변화에 따른 민감도 분석

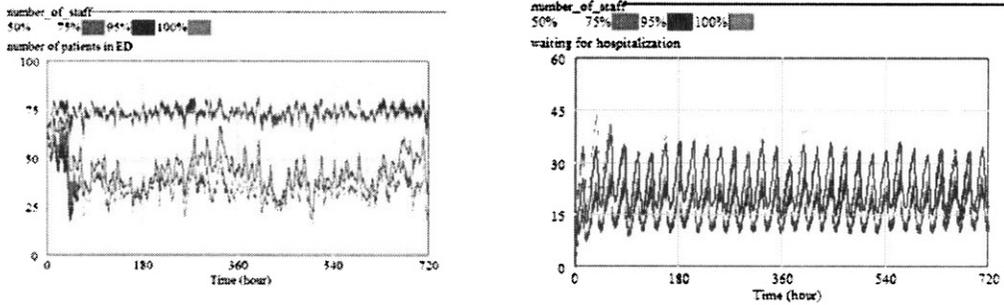


간과 의료진의 수는 진료 속도를 결정짓는 중요 변수로서 이들의 변화는 재실환자 수의 변화에 큰 영향을 미친다. 이에 반해 입원대기 환자수의 경우는 입원 병상의 상황에 영향을 받는 변수이므로 표준 진료시간이나 의료진 수는 이에 직접적인 영향을 주지 않는다. 모델의 민감도 분석 결과 역시 재실환자 수는 환자 당 진료시간 과 의료진 수의 변화에 영향을 받아 그 값이 크게 변하는 반면, 입원대

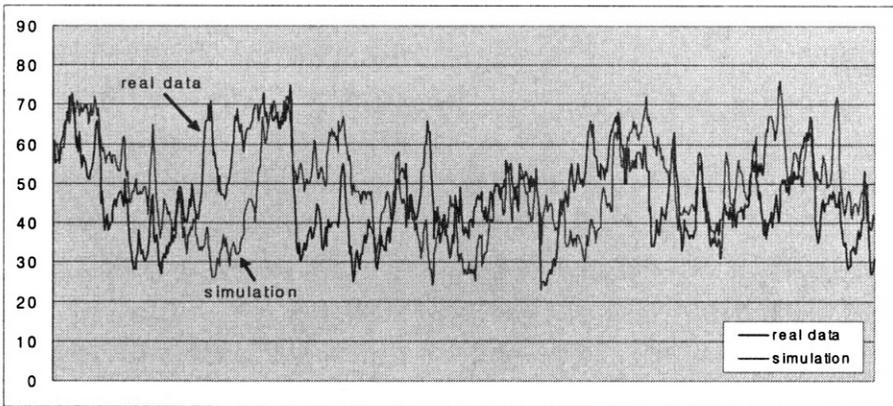
기 환자는 그 영향을 거의 받지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 이는 시뮬레이션 모델이 실제 응급실의 상황을 잘 반영해주고 있는 것이므로 모델은 타당하다고 할 수 있다.

다음은 준거모드와의 비교를 통해 모델의 타당성을 검증해 본다. 준거모드는 시뮬레이션의 결과와 비교할 수 있는 타당한 기준으로서 주로 현장조사를 통해 산출하거나 과거의 실제 자료가 이용된다.

〈그림 13〉 의료진 수의 변화에 따른 민감도 분석



〈그림 14〉 재실환자 수: 준거모드 Vs. 시뮬레이션



〈표 2〉 준거모드와 시뮬레이션 결과에 대한 기술통계량 비교

	min	max	average	stdev
patients in ED-R	23.00	75.00	46.8847	11.09733
patients in ED-S	23.68	75.57	48.6923	11.31701
waiting-R	3.00	48.00	19.4806	8.45472
waiting-S	4.00	48.00	18.7667	8.59398

본 연구에서는 세브란스의 실제 데이터를 시뮬레이션의 준거모드로 이용하였다.

〈그림 12〉는 세브란스 응급실의 2004년 내원기록을 통해 산출한 재원 환자 수의 변화를 기록한 것과 시뮬레이션을 통해 얻은 재실환자 수의 변화

를 비교한 그래프이다. 가로축은 시간을 나타내고 세로축은 재실환자의 수를 나타낸다. 비교 결과 준거모드와 시뮬레이션 모델의 형태가 거의 비슷한 것을 확인할 수 있다. 〈표 2〉는 실제 데이터와 시뮬레이션 결과에 대한 재실환자 수와 입원대기 환

자수를 비교한 것이다. 이를 통해서도 시뮬레이션 모델의 결과가 준거모드와 거의 흡사하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

모델은 변수들 사이의 수식에 오류가 없고, 극한 조건 평가 결과 변수의 극단적인 변화에도 모델은 적절히 반응하여 강건성이 입증되었다. 또한 민감도 분석과 준거 모드와의 비교 결과, 실제 응급실의 상황을 잘 반영하고 있다는 것을 확인하였다. 이것으로 응급실 예측 모델의 타당성이 입증되었다.

IV. 연구 결과

결과 분석을 위해 기본 모델(표준 조건)에 대한 시뮬레이션과 작업강도의 영향을 반영한 시뮬레이션을 실시하였다. 기본 모델과 작업강도의 영향에 대한 모델을 분석하여 실제 데이터와 비교하였다. 또한 작업강도의 영향 정도에 따른 재실환자 수를 분석하여 각각 실제 데이터와 비교하였다. 응급실

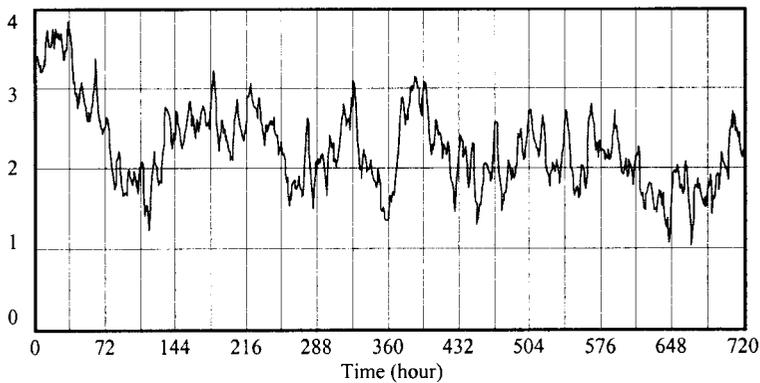
운영 시스템의 예측 모델에 대한 분석의 왜곡을 방지하기 위하여 조건별로 30회씩, 총 270회의 시뮬레이션을 실시하고 각각 실제 응급실 데이터와의 차이가 있는지에 대해 통계분석을 실시하였다.

연구대상의 작업강도를 시간의 흐름에 따라 나타내면 <그림 13>과 같다. 작업강도는 시간별 재실환자 수의 변화에 따라 증가와 감소를 반복하며, D+36일 경에는 최대 3.837까지 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

<그림 14>는 작업강도에 의한 환자 당 진료시간의 변화를 나타낸다. 기본 모델의 경우 작업강도에 의해 영향을 받지 않기 때문에 환자 당 진료시간은 표준 진료 시간인 7시간으로 일정하게 유지된다. 그러나 이것은 실제 응급실 상황과는 차이가 있다. 작업강도에 의한 영향을 고려한 경우 환자 당 진료시간은 작업강도의 변화에 따라 다양하게 변화한다. <그림 15>의 진료 완료량은 의료 능력과 근무시간의 곱에 환자 당 진료시간을 나눈 값이므로 작업강도의 영향을 받은 이들의 변화에 따라 함께 변화하는 것을 관찰할 수 있다. 여기서 base로 표현

<그림 15> Schedule pressure analysis

Graph for schedule pressure



schedule pressure : model

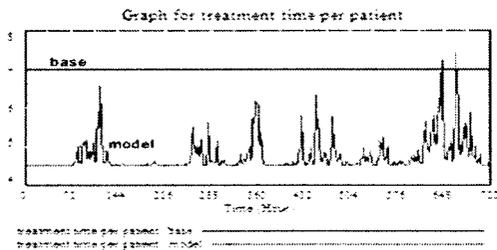
된 것은 작업강도를 고려하지 않은 경우이다.

〈표 3〉은 위에서 살펴본 기본 모델과 작업강도의 영향을 고려한 모델을 각각 30회씩 시뮬레이션 한 후, 이들을 실제 응급실 데이터와 비교해본 결과이다. Fisher의 유의검정을 이용하여 두 데이터의 평균 차이를 분석하였다. 신뢰수준 99%(유의수준 0.05)에서 평가해 본 결과 유의확률이 $0 < 0.05$ (유의수준)로 나타나 두 집단의 평균에 차이가 없다는 귀무가설이 기각되었다. 즉 기본 모델과 응급실 데이터와는 유의한 차이가 존재한다. 실제 데이터와 작업도를 고려한 응급실 모델 사이의 평균 차이에 대한 유의확률은 $0.624 > 0.05$ (유의수준)로 나타났다. 그러므로 실제 데이터의 평균과 시뮬레이션 결과의 평균에는 차이가 없다는 귀무가설이 채택되었다. 즉, 기본 모델에 작업강도의 영향을 추가한 응급실 모델이 실제 응급실의 운영 시스템을 잘 반영하고 있음을 의미한다.

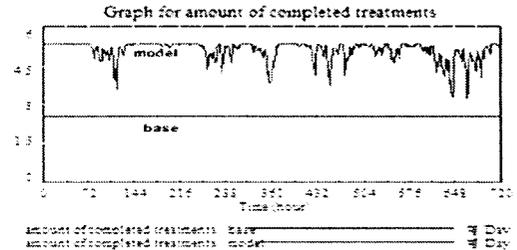
응급실 운영 시스템에 가장 적당한 작업강도의

영향 정도를 찾아내기 위하여 여러 번의 시뮬레이션을 실시한다. Oliva가 은행원을 기준으로 산출한 작업강도의 영향 정도인 40%를 기준으로 $\pm 15\%$ 구간을 5%씩 나누어 각각 30회씩 총 210회의 시뮬레이션을 실시하였다. 〈표 4〉는 시뮬레이션의 기술통계 결과를 바탕으로 Fisher의 유의검정을 통해 두 집단의 평균 차이를 비교해 본 결과이다. 〈표 4〉에서도 알 수 있듯이 40%를 제외한 작업강도의 영향 정도는 수치의 차이는 있지만 모두 실제 데이터와의 평균 차이에 대한 유의확률이 유의 수준인 0.05 이하로 나타나 이들 사이의 평균 차이는 유의한 것으로 분석되었다. 단, 40%인 경우의 시뮬레이션 결과는 실제 데이터와의 비교 결과 유의 확률 0.624로 유의 수준인 0.05 보다 크게 나타나 이들 사이의 평균에는 차이가 없는 것으로 분석되었다. 작업강도의 영향에 대해 상·하한 $\pm 40\%$ 로 설정하였을 때, 실제 응급실의 시스템과 가장 부합하는 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 즉,

〈그림 16〉 작업강도에 의한 진료시간 변화



〈그림 17〉 작업강도에 의한 진료 완료량 변화



〈표 3〉 기본 모델과 작업강도를 고려한 응급실 모델에 대한 통계분석

	n	average	stdev	min	max	p-value
ED data		46.54	11.13	22.00	75.00	
base model	30회	78.46	3.69	50.00	85.00	0.00
ED model	30회	47.55	11.02	16.40	78.60	0.624

*신뢰수준 99%, 유의수준 0.05

〈표 4〉 작업강도의 영향

level	times	average	stdev	min	max	p-value
data		46.54	11.13	22.00	75.00	
25%	30	68.28	4.15	47.59	81.73	0
30%	30	66.31	5.15	39.46	80.93	0
35%	30	61.18	7.94	24.74	80.44	0
40%	30	47.55	11.02	16.40	78.60	0.624
45%	30	38.73	9.35	10.00	75.86	9E-06
50%	30	34.03	8.06	8.57	75.91	2E-16
55%	30	31.16	7.19	7.62	73.61	0

* 신뢰수준 99%, 유의수준 0.05

응급실 의료진의 작업강도에 대한 영향 정도는 40% 수준인 것으로 결론 내릴 수 있다.

V. 결론

이상의 연구 결과에서 작업강도의 비선형 관계를 고려하여 내원환자의 급증에 따라 응급실 시스템이 탄력적으로 반응함을 살펴보았다. 이것은 기존의 연구에서 분석되지 않았던 결과로서, 응급실의 운영 체계에 대한 보다 현실적인 분석을 위해 응급실 시스템과 관련한 비선형적인 인과 관계를 고려할 필요성을 확인하는 기회가 되었다. 본 연구의 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 실제 응급실의 환자 적체에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 조사된 입원대기를 시뮬레이션에 반영함으로써 보다 현실적인 응급실 모델을 구축하였다. 둘째, 동적인 요소인 작업강도의 영향을 시뮬레이션에 고려함으로써 실제 작업강도가 응급실 운영에도 영향을 주고 있음을 확인하였다. 응급실

내원환자의 수가 증가하게 되면 재실환자 수가 증가하고 이는 진료해야할 환자의 증가를 의미한다. 이로 인해 의료진의 작업강도가 높아지고 이러한 작업강도의 영향을 받아 의료진의 근무시간 및 환자 당 진료시간이 변화한다는 것을 확인하였다. 셋째, 작업강도가 실제 응급실 의료진에게 주는 영향 정도를 파악하기 위해 추가적인 시뮬레이션을 실행한 결과, 응급실의 의료진은 40% 수준의 Oliva 함수를 적용하는 것이 가장 타당하다는 결론을 내릴 수 있었다.

본 연구는 이러한 동적인 요소를 가미하여 시스템 중심으로 운영 체계를 분석함으로써 기존의 개체 중심의 분석 방법에서는 표현하지 못했던 부분을 현실에 맞게 적용할 수 있었다는 점에서 의의를 가질 수 있다. 비록 본 연구는 세브란스의 응급진료센터에 초점을 두어 이루어졌지만, 연구 과정이나 분석 방법은 타병원의 응급실 운영 체계를 예측하고 분석하는데 유용하게 이용될 수 있다. 그 뿐 아니라 기존의 정태적인 분석을 위주로 한 병원, 은행 창구, 공장, 생산 라인, 서비스업 등에서의 인원배치나 설비 능력을 계산할 때에도 작업강도에

대한 효과나 성과 분석 등의 동태적인 분석이 이루어질 경우 보다 현실적이고 정확한 예측 모델을 구축할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 본 연구에서 구축된 예측 모델을 이용하여 응급실의 개선 방안에 대한 성과 측정을 실시할 수 있다. 이는 응급실 운영에 대한 의사 결정을 위해 시뮬레이션을 활용할 수 있도록 한다. 또한 본 연구는 병원 응급실을 대상으로 하여 대기행렬과 서버간의 흐름을 분석한 것이지만, 다른 영역으로의 확대가능성이 높다. 예를 들면 생산 시스템에서의 작업 공정 관리, 프로젝트에서의 일정 관리, 은행 등 서비스 조직에서의 인원관리 등에서도 적용할 수 있을 것이다.

하지만 본 연구는 작업강도에 대한 함수를 적용함에 있어서 분야의 특성이나 개인의 성향 등을 고려하지 못하고 있다. Oliva 함수는 은행 직원을 대상으로 함수를 도출하였기 때문에 이들과는 업무의 특성이나 상황이 다른 응급실 의료진의 경우 작업강도에 대해 이들이 받는 영향에는 차이가 존재할 것이다. 그러므로 응급실의 모델을 보다 정교하게 구축하기 위해서는 실제 응급실 의료진에 대한 작업강도에 따른 성과 등에 대한 실증 작업이 이루어져야 한다.

이러한 점을 보완하여 향후 다음과 같은 추가 연구가 이루어질 것으로 기대한다.

본 연구는 응급실 시스템을 모델링한 것으로써 이를 바탕으로 다양한 시스템에서의 변화가 어떠한 영향을 미치는지를 사전에 시뮬레이션하고 이를 통한 결과를 검증하고 분석 할 수 있는 연구가 수행될 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들면 병원에서의 주기적인 입원시스템이 응급실의 재실환자 수 등에 미치는 영향이나 응급실 내원환자 패턴의 변화가 응급실 재실환자 수에 미치는 영향에 대한 연구 등이 있을 것이다.

또한 본 연구에서 응급실에서 작업강도에 따라 작업 스피드가 달라진다는 것을 확인하였다. 그러나 이러한 영향 정도는 개인에 따른 차이가 발생할 것으로 판단된다. 의료진의 낙천성, 위험에 대한 회피 정도 등이 작업강도와 작업 스피드간의 관련성에 어떻게 영향을 미치는지가 중요한 요소로 고려될 수 있을 것이다. 이러한 경우에 대해서도 실험 등을 통해 보다 정교한 분석이 가능할 것이다.

참고문헌

- 김미라, 이기춘(2004), "의료서비스에 대한 소비자만족에 영향을 끼치는 요인," **소비자학연구**, 15권 3호.
- 김태현, 문성암(2003), "공급자의 할당규칙 대칭에 따른 공급체인 동태성에 관한 연구," **한국생산관리학회지**, 14권 1호.
- 김태현, 문성암, 김현호(2002), "정보종결욕구에 따른 공급체인 동적 특성에 관한 연구," **경영학연구**, 31권 5호, 1255-1271.
- 문성암, 김동진, 박종석(2004), "작업강도 및 피로도를 고려한 서비스능력에 대한 시스템다이나믹스 접근," **한국생산관리학회지**, 15권 2호.
- 문성암(2000), "제품전략에 따른 공급체인 구조가 공급체인 재고에 미치는 영향에 관한 연구," **경영학연구**, 29권 4호, 617-641.
- 이인숙, 오은경, 이중희, 윤여규(1999), "3차 대학병원 응급실의 운영 효율화를 위한 연구," **대한응급의학회지**, 10권 1호.
- 임미선(2003), "예고되지 않은 응급의료센터 재방문의 영향 요인분석," **석사학위논문**, 연세대학교 보건대학원.
- 이종길(1993), "병원의 응급의료체계 완비, 무엇이 문제인가?," **대한응급의학회지**, 4권 1호.
- 유상훈(1997), "지역 사회 응급 서비스 종사자를 위한 스

- 트레스 관리팀의 형성과 개발," *연세사회복지연구*, Vol. 4, 70-85.
- 윤범용, 김명욱, 김병로, 박기일(1975), "응급실의 실태와 운영," *대한외과학회지*, 17권 11호.
- 장석준, 장문준, 이한식(1993), "응급실 환자 과밀화 요인의 분석," *대한응급의학회지*, 3권 1호.
- 최명심(2000), "응급실 환자 대기시간 단축 모의실험," 석사학위논문, 연세대학교 보건대학원.
- American College of Emergency Physicians Dalls (1990), Texas, Hospital and Emergency Department Overcrowding, *An Emer Med*, 17, pp.95-96
- Bressan, C., P. Facchin and G. Romanin Jacur (1988), "A Generalized Model to Simulate Urgent Hospital Departments," *Proceedings of the IMACS Symposium on System Modelling and Simulation*, pp.421-425.
- Dumas, M. B.(1984), "Simulation Modeling for Hospital Bed Planning," *Simulation*, vol. 43, no. 2, pp.69-78.
- Fishwick, P. A.(1989), "Neural Network Models in Simulation: a Comparison with Traditional Modeling Approaches," *Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference*, pp.702-710.
- Ishimoto, K, T. Ishimitsu, A. Koshiro and S. Hirose (1990), "Computer Simulation of Optimum Personnel Assignment in Hospital Pharmacy Using a Work-Sampling Method," *Medical Informics*, vol. 15, pp.343-354.
- Mahachek, A. R.(1992), "An Introduction to Patient Flow Simulation for Health-Care Managers," *Journal of the Society for Health Systems*, vol. 3, pp.73-81.
- Margaret Woodruff(2002), "Inpatient Bed Need Planning Back to the Future?," *The Bristol Review*.
- Miller, Martin J., David M. Ferrin, Jill M. Szymanski(2003), "Simulating Six Sigma Improvement Ideas for a Hospital Emergency Department," *proceedings of the 2003 Winter Simulation conference*.
- Oliva, R.(1996), "A dynamic Theory of Service Delivery: Implication for Management Service Quality," PhD thesis, *MIT Sloan school of Management*, Cambridge, MA02142.
- Rossetti, Manuel D., Gregory F. Trzcinski, Scott A. Syverud(1999), "Emergency Department Simulation and Determination of Optimal Attending Physician Staffing Schedules," *Simulation Conference*.
- Saunders, C. E., P. K. Makens and L. J. Leblanc (1989), "Modeling Emergency Department Operations Using Advanced Computer Simulation Systems," *Annals of Emergency Medicine*, vol. 18, pp.134-140.
- Siebren Groothuis, Godefridus G. van Merode, Yvonne J.M. Koppelman, Arie Hasman (2002), "Simulation at the Emergency Department," Dissertation, *Maastricht University*.
- Smith, Alice E., Larry J. shuman(1995), "An Emergency Department Simulation and a Neural Network Metamodel," *Journal of the Society for Health System*, Special Issue on Simulation.
- Sterman, J. D.(2001), *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill, Chapter 14 & 21.
- Weissberg, R. W.(1977), "Using Interactive Graphics in Simulating the Hospital Emergency Department," in *Emergency Medical Systems Analysis*, Lexington Books, Lexington MA, pp.119-140.

A System Dynamics Approach for Emergency Department Operation Considering the Effects of Schedule Pressure

Tae Hyun Kim* · Seong-Am Moon** · Sunmee Choi*** · Hae Jin Kim****

Abstract

The purpose of this thesis was to grasp the process of emergency department (ED) and to find out the simulation model which produces the most reliable outcome. It is the first time ever to apply system dynamics approach for ED. In this paper, schedule pressure was accounted for the development of ED operating system. Workload of ED staffs is varied depending on the number of ED patient visits which affected by time of days and situation of ED operating efficiency. Therefore the simulation model without accounting this complex dynamic situation may produce an outcome which is different from the real life situation. In this study, we developed the simulation model, which was based on the ED at the Severance hospital in Seoul, Korea.

The results from this study were as follows:

1) Wait times for ED patients to receive hospital bed were applied to the ED simulation model so that the best representation of actual ED system can be developed. 2) For the first time, it was found that the schedule pressure can actually affect the ED operating system. As number of arrival patients increases, the number of patients in ED also increases and it leads the increased number of patients who required treatment. This also increases schedule pressure of ED staff and it consequently causes changes in both working hours of ED staff and treatment time per patient in ED. 3) It was found that approximately 40% of Oliva's

* Yonsei University Professor.

** Korea National Defense University Associate Professor.

*** Yonsei University Assistant Professor.

**** Yonsei University Graduate Student.

function is the most appropriate effect level of schedule pressure to apply for understanding of actual ED operating system.

For the purposes of this study, system dynamic was used to conduct the simulation model and analyze the corresponding impacts on the actual ED system. The simulation model in this study, was based on the Emergency Department at the Severance hospital, however the methods used in this study can be applied to analyze ED operating system of other hospitals. The system dynamic approach is essential to develop the model which is an accurate representation of the actual system. Therefore a model based on system dynamic can help hospital, bank, factories, supply chains and other service areas to analyze their operating system. In this study, the stochastic simulation of the ED was used as the methodology for examining the ED system performance and it evaluated the effects of complex dynamics on ED operating efficiency.

Key words: emergency department, ED, system dynamics, schedule pressure, simulation, operation, health care management