

## 잭슨 네트워크를 이용한 응급실의 대기 시간 단축 연구\*

김수미\*\* · 서희연\*\*\* · 이준호\*\*\* · 권용갑\*\*\*  
†김성문\*\* · 박인철\*\*\*\* · 김승호\*\*\*\* · 이영훈\*\*\*

### An Application of a Jackson Network for Waiting Time Reduction at the Emergency Care Center

Sumi Kim\*\* · Hee Yeon Seo\*\*\* · Jun Ho Lee\*\*\* · Yong Kap Kwon\*\*\*  
†Seongmoon Kim\*\* · In Cheol Park\*\*\*\* · Seung Ho Kim\*\*\*\* · Young Hoon Lee\*\*\*

#### ■ Abstract ■

Patients entering an emergency care center in a hospital usually visit medical processes in different orders depending on the urgency level and the medical treatments required. We formulate the patient flows among diverse processes in an emergency care center using the Jackson network, which is one of the queueing networks, in order to evaluate the system performances such as the expected queue length and the expected waiting time. We present a case study based on actual data collected from an emergency care center in a hospital, in order to prove the validity of applying the Jackson network model in practice. After assessing the current system performances, we provide operational strategies to reduce waiting at the bottleneck processes and evaluate the impact of those strategies on the entire system.

Keywords : Emergency Care Center, Queueing Network, Jackson Network, M/M/s Queueing Model

논문접수일 : 2009년 11월 18일    논문게재확정일 : 2010년 03월 11일

\* 이 논문은 2009학년도 연세대학교 다학제간 공동연구 지원 사업(2009-7-0099)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

\*\* 연세대학교 경영학과

\*\*\* 연세대학교 정보산업공학과

\*\*\*\* 연세대학교 응급의학과

† 교신저자

## 1. 서론

국내 주요 대형 종합 병원의 의료산업은 공급자 중심의 서비스 산업이라는 특수성을 가지고 있으며, 만성적인 수요 초과 등의 이유로 다른 서비스 산업에 비하여 고객 중심적 서비스 개선에 대한 필요성이 상대적으로 적었다. 최근 많은 병원이 신설되면서 병원의 경쟁력을 강화하기 위한 여러 가지 시도가 이루어지고 있으나 주로 전문적인 의료 서비스 혁신에 한정되고 있어 고객 서비스 만족도에 대한 고려는 여전히 낮은 단계에 머물러 있다.

환자들이 병원에서 느끼는 불만 요소 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 치료를 위해 대기하는 시간이 너무 길다는 점이다. 특히, 응급실에서는 위급한 상황 하에서 환자들을 선택적으로 수용하는 것이 불가능하기 때문에 과밀 현상이 야기되고, 이는 곧 환자들이 진료를 받기 위해 기다려야 하는 시간을 증가시키는 결과를 초래한다. 따라서 응급실 프로세스 최적화를 위한 연구에서는 이러한 응급실의 특수 상황을 고려하는 것이 필요하다.

큐잉 이론(Queueing Theory)은 의료 분야에서 다양한 대상에 여러 가지 방법으로 적용이 되어 왔다. 병원 내의 개별 분과에서부터 지역 사회의 의료 시스템에 이르기까지 다양한 범위의 의료 서비스를 대상으로 하여 대기시간이나 시스템 디자인, 예약 시스템 등과 같은 분야에서 연구가 진행되었다. 대기가 발생하는 의료 서비스와 같은 시스템에서 크게 관심을 갖는 것 중 하나는 환자들이 기다리는 시간을 최소화 하는 것이다. 이와 관련하여 환자들이 대기할 하다가 더 이상 기다리지 않고 떠나는 경우(renegeing)에 대한 연구들이 진행되었다. Broyles and Cochran[3]의 연구에서는 응급실을 떠나는 환자들의 비율을 계산하여 이것으로 인해 발생하는 수익 손실을 분석하였다. Roche and Cochran[7]은 환자들을 위급성의 여부에 따라 분류하여 위급한 환자를 응급 전용 구역에서 치료하였고, 이를 통해서 서비스를 받지 않고 응급실을 떠나는 환자들의 수를 줄일 수 있었다. 이 연구는 대부분

의 대기시간이 의사의 검진을 한 번 받고 난 뒤 다른 검사 혹은 검사 결과를 기다리는 데서 발생한다는 것에 착안하여 환자와 그 보호자들이 대기할 수 있는 장소의 크기를 추정하기도 하였다.

의료 시스템에서 환자의 도착률은 시간대 등에 따라 다를 수 있는데, 이와 관련하여 Rosenquist[8]은 응급 및 외래환자 방사선과에서 환자의 도착률이 해가 거듭될수록 증가하는 경향을 보일 때, 이것이 대기시간과 대기행렬(queue, waiting line)의 길이에 어떻게 영향을 미치는가에 대하여 연구하였다. Green[4]은 응급센터에 대하여 환자들의 도착률을 분석하여 시간별 최적의 근무 일정을 스케줄링 하고, 시간별로 환자의 도착률이 변한다는 가정하에 SIPP(Stationary independent period by period) 방법을 이용하여 서비스를 받지 않고 돌아가는 환자의 비율을 줄이는 방안을 모색하였다.

대부분의 의료 환경에서 환자들은 도착한 순서대로 서비스를 받거나 혹은 위급한 정도에 따라 우선적으로 의료 서비스를 받게 되는데, 후자의 방침이 적용되는 경우에 대한 연구도 진행되어 왔다. McQuarrie[6]은 서버의 이용률이 높을 때, 보다 긴급하게 서비스를 받아야 하는 환자에게 우선 순위를 부여하여 이들의 대기시간을 줄이는 것이 가능함을 보였고, Siddhartan et al.[9]의 연구에서는 위급하지 않은 환자가 응급실을 이용하는 경우 환자들의 대기시간에 미치는 영향을 분석하였다. 환자들을 중증도에 따라 4개의 범주로 분류하고 심각한 순서대로 상위 3개 범주에 속한 환자들은 응급 환자, 중증도가 가장 낮은 환자들은 비응급환자로 보아 응급 여부에 따라 우선 순위 원칙을 적용하고 각 분류 내에서는 선입선출(first-come-first-served)의 방법을 사용하였다. 그에 따라 높은 우선 순위 환자들의 대기시간은 줄었으나 낮은 우선 순위의 환자들의 대기시간은 다소 길어지는 결과를 보였다.

큐잉 네트워크(Queueing Network)에서는 서비스가 이루어지는 복수의 프로세스가 존재하고, 환자들은 이와 같은 여러 프로세스를 통과하게 된다. 이 중에서 서버의 높은 이용률로 병목 현상(Bot-

tleneck)이 일어나는 프로세스가 존재할 수 있고, 이는 환자들의 전체 대기시간을 증가시키므로 이와 같은 현상을 해소하기 위한 분석들이 진행되었다. Albin et al.[2]은 한 병원에서 병목 현상이 일어나는 부분을 QNA(The queueing network analysis software program)을 사용하여 분석하였다. 본래 접수하는 과정에서 병목 현상이 일어나는 것으로 예상했으나 실제 분석을 통해 접수가 아닌 다른 곳에서 가장 긴 대기 시간을 보인다는 것을 찾아내고, 대기 시간을 줄일 수 있는 방안을 각 프로세스 별로 제시함으로써 전체 대기시간을 줄이는 결과를 보였다. Abujudeh et al.[1]의 연구에서는 응급실에서 이동 X-ray가 어떤 순서로 운영이 되고 있는지 그 흐름을 파악하고, 이 과정에서 발생하는 병목 현상을 밝혔다. 이 연구에서는 여러 개의 서비스가 순차적으로 진행되는 모델을 응급실의 이동 X-ray 운영에 적용하여 분석하고 총 소요 시간을 구했다.

이와 같이 큐잉 이론을 의료 부분에 적용하여 분석하려는 노력이 다방면으로 진행되어 왔으나 응급실은 다른 일반 병원과 다른 운영 방식을 가지고 있어 기존의 연구를 그대로 적용하는 데 어려움이 있다. 따라서 본 연구는 기존의 다른 연구들과 차별성을 가지며, 다음과 같은 점에서 학문적 의의를 가진다.

① 의료 기관 내에서 환자들이 서비스를 받는 프로세스에 대한 지금까지의 연구들은 주로 X-ray, CT 등과 같은 개별 프로세스에 대하여 진행이 되어 왔다. 즉, 개별 부서 안에서 여러 가지 서비스가 이루어진다 하더라도 대부분 하나의 서비스를 제공하는 프로세스로서 M/M/s 등의 단일 프로세스 모델을 적용하는 방향으로 분석이 되어 왔다. 일부 연구에서 여러 개의 프로세스가 정해진 일련의 순서대로 진행되는 경우에 대하여 큐잉 이론을 적용하였으나, 응급실은 환자들이 정해진 프로세스 순서대로 서비스를 받는 것이 아니기 때문에 차이가 있다. 본 연구에서

는 응급실 시스템 전체를 단일 프로세스가 아닌 네트워크 형태로 분석하고, 특히 잭슨 네트워크(Jackson Network)를 적용하여 다양한 서비스가 이루어지는 응급실에 대하여 보다 현실적이고 구체적인 시각을 제시하는 역할을 할 것으로 기대한다.

② 진료과의 세부 분류에 따라 비슷한 증상을 가진(homogeneous) 환자를 받아들이는 일반적인 병원과 달리 응급실에는 환자들이 서로 다른 증상을 가지고 도착하게 된다. 따라서 응급실에는 도착하는 환자를 응급한 정도에 따라 분류하는 Triage 프로세스가 존재한다. Triage 등급에 따라 환자들은 구분된 장소에서 치료받기도 하며, 프로세스 간 이동 경로 및 도착 시간대의 분포도 다른 경우가 일반적이다. 이에 본 연구에서는 환자들의 Triage 등급별로 잭슨 네트워크를 적용하여 평균 도착률을 계산하고, 이들을 모두 합하여 각 프로세스 별로 평균 대기인원 및 대기시간을 구해내는 방법을 사용하는데, 이는 기존의 연구와 차별화된 점이다.

③ 기존의 연구는 모두 해외의 의료 기관을 대상으로 한 것으로 Triage 시스템과 등급별 환자의 도착 분포, 프로세스 등이 국내와는 다소 다른 부분이 있어 국내 의료 기관의 시스템을 분석하는데 바로 적용할 수 없었다. 따라서 국내의 현실에 맞는 새로운 접근에 대한 필요성이 대두되었다. 또한, 본 연구는 국내 병원 응급실과 진행한 프로젝트에 기반한 것으로 실제 사례를 분석하였다는 의의를 가진다.

본 연구에서는 응급실 환자의 대기시간 단축을 위하여 응급실 내의 프로세스를 잭슨 네트워크 모델을 적용하여 분석한다. 실제 데이터를 사용하여 응급실에 진료를 받기 위해 찾아오는 고객의 도착 간격 시간(inter-arrival time) 분포를 중증도별로 분석하고, 각 프로세스 별로 큐잉 이론을 적용할 수 있도록 큐잉 네트워크를 구성하였다. 이를 통해 각 프로세스 별로 환자의 평균 대기시간을 분석하여

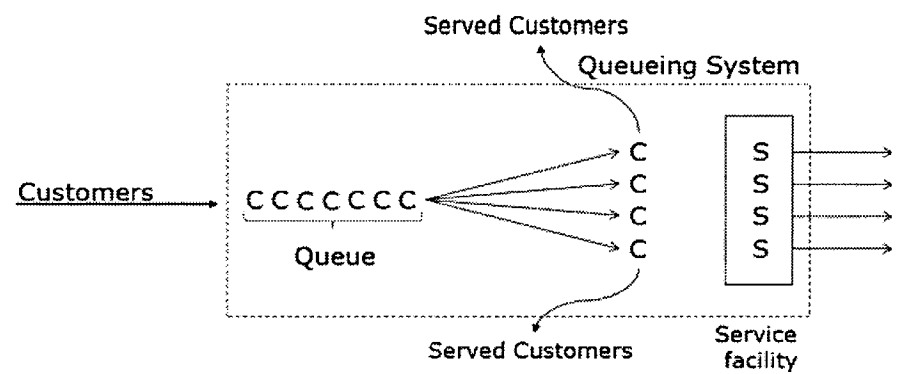
대기 시간이 긴 프로세스를 규명하고, 문제 상황을 명확하게 제시하는 것을 그 첫 번째 목적으로 한다. 뿐만 아니라 각 프로세스에 대해 장비 구입이나 인력 충원을 통한 서버 증설, 프로세스 개선 및 보조인력 충원을 통한 서비스 시간의 감소 방안을 적용하고 결과를 분석하여 병원이 가지고 있는 제한된 자원과 제약 조건 아래에서 대기 시간 단축을 위하여 선택할 수 있는 다양한 해결책도 함께 제시한다. 본 연구는 응급실의 특수 상황을 고려한 큐잉 네트워크 모델을 제시함으로써 응급실의 프로세스를 최적화하고, 환자의 대기시간을 단축시킬 수 있는 현실적인 대안을 제시함에 따라 병원의 서비스 품질 개선을 위한 가이드라인을 제시할 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 큐잉 이론에 대한 일반적인 내용과 큐잉 네트워크 모델에 대한 이론적 배경을 설명한다. 제 3장에서는 본 연구에서 적용한 사례인 응급실의 상황을 설명하고 연구 방법을 제시한다. 또한 응급실의 프로세스를 잭슨 네트워크 모델에 적용하는 과정 및 필요한 데이터들을 설명한다. 이를 토대로 현재 응급실의 프로세스들에 대한 평균 대기인원 및 대기시간 등의 분석 결과를 제시한다. 제 4장에서는 현 상황을 개선할 수 있는 다양한 방안의 분석 결과를 기술하고 제 5장에서는 본 연구의 기대효과와 한계점 및 결론을 요약하였다.

## 2. 큐잉 네트워크

큐잉 이론은 대기행렬을 수학적으로 다루는 이론으로 대기행렬에 도착하는 고객들과 대기하고 있는 고객들 그리고 서비스되는 프로세스들에 대하여 수학적, 확률적 분석을 가능하게 한다. 큐잉 이론은 고객들의 도착 및 서비스 시간에 대한 확률 분포를 사용하여 시스템 내에서 고객의 평균 대기 시간, 대기행렬의 크기, 서비스 수준 등의 성능을 측정하는 유용한 도구이다.

도착 간격 시간은 한 고객의 도착과 그 다음 고객



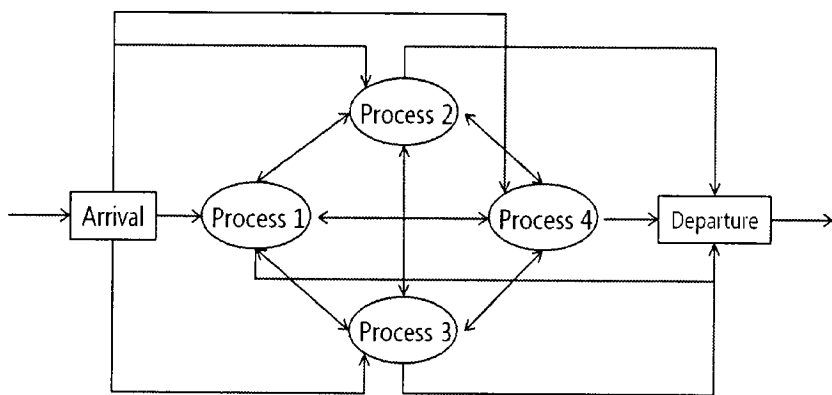
〈그림 1〉 기본 큐잉 시스템

의 도착 사이의 시간을 의미하고, 평균 도착률(mean arrival rate)은 시간당 평균적으로 도착하는 고객의 수를 나타내며  $\lambda$ 로 표시한다. 대다수의 큐잉 모델은 도착 간격 시간에 대한 확률분포로 지수분포(exponential distribution)를 가정하고 있으며, 도착 간격 시간이 지수분포일 때 시간당 도착하는 고객의 수는 포아송 분포(Poisson distribution)를 따른다. 지수분포는 고객의 도착 분포를 현실적으로 잘 표현하기 때문에 가장 대표적이면서 다른 분포보다 수학적으로 분석하기 쉬워 종종 사용되고 있는데, 이는 대부분의 도착 간격 시간이 평균 이하의 짧은 시간일 가능성이 매우 높고, 발생 가능성은 희박하지만 평균보다 매우 큰 도착 간격 시간도 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 각 서버가 단위 시간당 서비스를 완료할 수 있는 평균 고객의 수는  $\mu$ 로 표시한다. 이 때, 서비스 시간은 고객이 서비스를 받기 시작한 순간부터 서비스가 완료되는 순간까지의 시간으로, 특정 확률분포를 갖는다고 가정하며 평균 서비스 시간은  $1/\mu$ 가 된다. 서비스 시간 분포도 역시 지수분포를 많이 사용하는데 그러한 경우는 서비스 시간이 주로 평균 이하로 짧은 경우가 많고, 서비스 시간이 평균보다 길 확률은 상대적으로 낮다는 것을 의미한다.

그러나 실제로 복잡한 시스템은 단일 큐잉 모델들의 조합으로 구성된 경우가 많은데, 이와 같은 시스템을 큐잉 네트워크라고 한다. 병원 응급실에 환자가 도착하면 하나 이상의 서비스를 받고 응급실을 떠나게 되므로 큐잉 네트워크 이론의 적용이 가능하다.

기본적인 큐잉 네트워크 중 순차적(series) 시스

템은 고객이 네트워크 내에서 정해진 프로세스의 순서에 따라 일련의 서비스를 받는 형태로, 모든 고객은 프로세스를 같은 순서로 거치게 되며 각각의 프로세스에서 대기하는 고객의 수에는 제한이 없는 형태이다. 고객이 네트워크의 첫 프로세스에  $\lambda$ 의 도착률(arrival rate)을 가진 포아송 프로세스(Poisson process)로 도착하고, 각 프로세스의 서비스 시간 분포가 지수 분포를 따를 때, 고객들은 모든 프로세스에  $\lambda$ 의 도착률을 가진 포아송 프로세스에 의해 도착하게 된다.



<그림 2> 큐잉 네트워크 시스템

또 다른 큐잉 네트워크 형태 중 하나인 잭슨 네트워크는 순차적 시스템과 비슷하지만 고객이 서비스를 받는 프로세스의 순서가 정해져 있지 않고, 고객별로 받는 서비스 및 순서가 서로 다르다는 차이점을 가진다. 즉, 각 프로세스들이 순차적으로 연결되어 있는 것이 아니라 <그림 2>과 같이 비순차적 또는 병렬(parallel)로 연결되어 있는 경우의 분석에 더욱 적절한 형태이다. 응급실에서는 환자들이 자신의 상태에 따라 동일하지 않은 치료 절차를 필요로 하여 서로 다른 순서로 여러 프로세스를 거치게 되므로 잭슨 네트워크를 적용할 수 있다.

잭슨 네트워크는  $m$ 개의 프로세스를 포함한 시스템으로 이 때, 프로세스  $i(i=1, 2, \dots, m)$ 는 다음과 같은 특징을 가진다.

- 대기행렬의 길이에 제한이 없다.
- 고객은 시스템 외부로부터 내부 프로세스  $i$ 에 도착할 때 평균 도착률  $a_i$ 의 값을 가지는 포아송 프로세스를 따른다.
- 각 프로세스  $i$ 에는  $s_i$ 명의 서버가 존재하고, 이

들의 서비스 시간은 평균값이  $1/\mu_i$ 인 지수분포 형태를 따른다.

프로세스  $i$ 를 마친 고객은  $p_{ij}(i, j=1, 2, \dots, m)$ 의 확률로 프로세스  $j$ 로 가거나 다음의 확률로 전체 시스템으로부터 외부로 떠난다.

$$q_i = 1 - \sum_{j=1}^m p_{ij} \quad (1)$$

또한, 안정 상태(steady-state) 조건 하에서, 각 프로세스  $j(j=1, 2, \dots, m)$ 는 독립적인 M/M/s 시스템으로 표현될 수 있고, 다음과 같은 총 도착률( $\lambda_j$ )을 가지게 된다.

$$\lambda_j = a_j + \sum_{i=1}^m \lambda_i p_{ij} \quad (\text{단, } s_j \mu_j > \lambda_j) \quad (2)$$

위 (2)식에서 각 프로세스로의 총 도착률은 외부에서 직접 들어오는 고객의 도착률과 프로세스 간의 이동률(transition probability)에 따른 도착률의 합으로 이해할 수 있다.

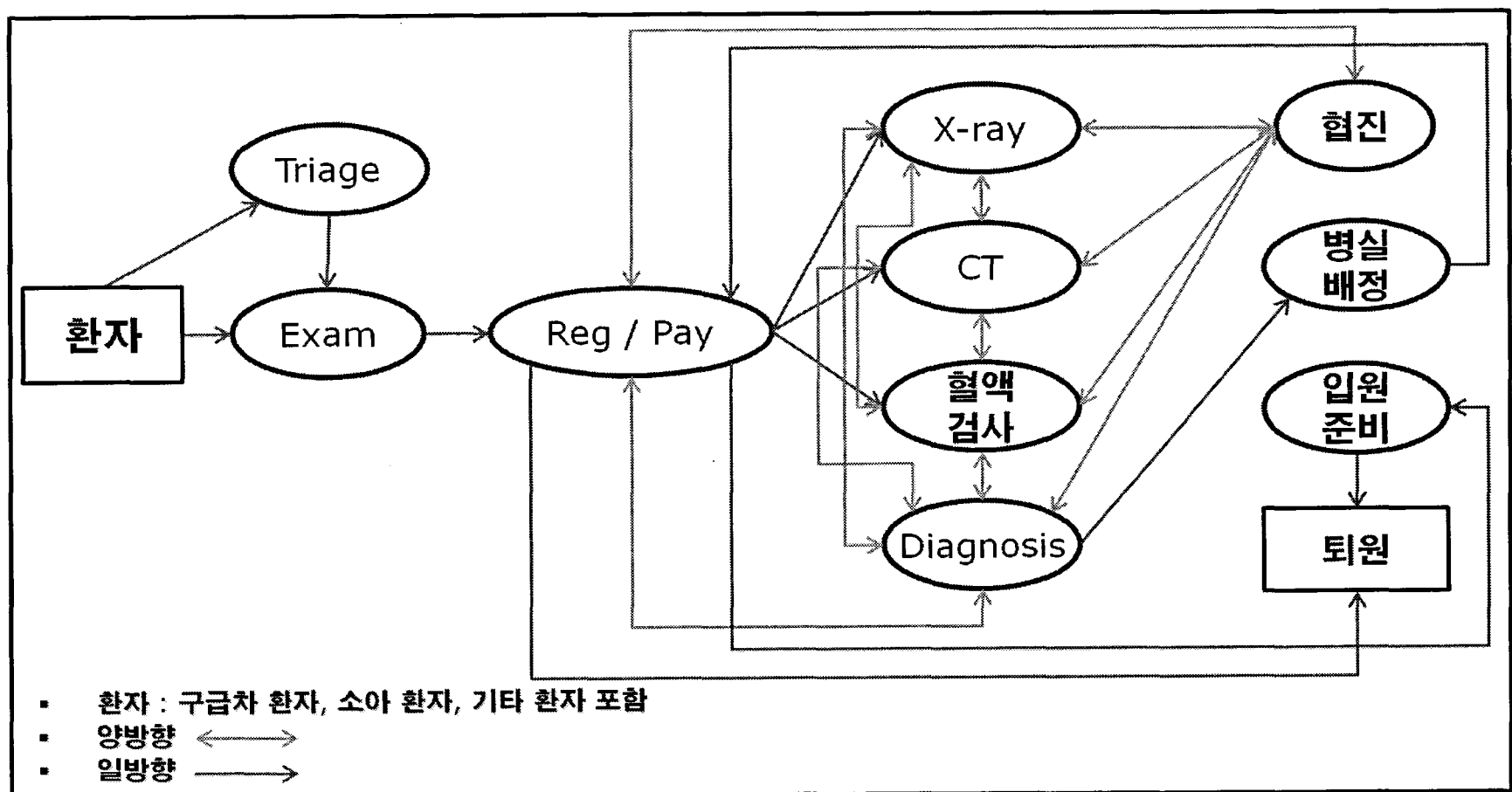
이러한 잭슨 네트워크의 성질을 이용하여 본 연구에서는 각 프로세스 별 총 도착률을 구하여 M/M/s 큐잉 모델에 적용하여 네트워크를 분석한다 [5]. 잭슨 네트워크를 병원 응급실에 적용하기 위해서는 응급실만의 특징을 모델에 반영해야 한다. 일반적인 시스템과 달리 응급실에 도착하는 환자들은 긴급한 정도에 따라 서로 다른 상태로 오게 되므로 하나의 도착률을 가지는 획일적인 형태로 나타낼 수 없다. 응급실에 도착하는 환자들은 위급한 정도에 따라 5개의 Triage로 나뉘게 되는데, 이 등급에 따라 시간당 평균적으로 응급실을 찾는 환자의 수와 응급실 내에서 받는 검사의 종류 및 순서들이 다른 경향을 보이기 때문이다. 예를 들어, 그다지 위급하지 않은 환자는 위급한 환자들에 비하여 주로 오전이나 오후의 병원 일과시간 중 응급실을 방문하고, 새벽에 방문하는 비율은 낮다. 따라서, 본 연구에서는 현재 응급실에서 분류하고 있는 5개의 Triage별로 도착률과 프로세스 간 Transition matrix를 구분하여 분석하였다.

### 3. Case Study

응급실에 적용된 큐잉 네트워크는 <그림 3>에 서 볼 수 있는 것과 같이 총 10개의 프로세스로 구성되어 있다. 먼저, 네트워크는 환자가 응급실에 도착하면서부터 시작된다. 실제 응급실에서는 도착하는 환자를 특성에 따라 구급차로 도착하는 환자, 소아 환자 및 그 외 환자들로 구분하게 되고, 본 연구에서는 각각을 구급차 환자, 소아 환자, 기타 환자라 부르기로 한다. 이들이 프로세스를 진행하는 절차는 크게 두 가지로 나뉘는데 먼저 구급차 환자와 소아 환자는 Triage의 과정 없이 Exam 프로세스로 가게 되고, 기타 환자는 Triage 프로세스를 가장 먼저 거치게 된다. Triage 프로세스는 간호사가 기타 환자들의 상태를 먼저 확인한 후 중증도를 분류하는 프로세스이다. Exam 프로세스는 환자들이 최초로 의사에게 검진을 받는 프로세스로 소아 및 구급차 환자에게는 응급실에 도착한 뒤 처음으로 거치는 프로세스가 되고, 기타 환자는 Triage 프로세스 이후에 도착하는 프로세스가 된다. Exam 프로세스에서 초진을 받은 환자는 앞서 구분한 3개의 환자 분류에 상관없이 모두 Regist-

ration/Payment(Reg/Pay) 프로세스에서 접수를 마쳐야만 다른 진료를 시작할 수 있다. 그런데 환자들은 입원이나 퇴원을 하는 경우에도 Reg/Pay 프로세스에서 입원 접수를 하거나 진료 비용을 지불해야 하므로, 대부분 2회 이상 Reg/Pay 프로세스를 방문하게 된다.

의사에게 받는 진료 및 치료 이외에 환자들이 별도로 받는 검사는 혈액검사, X-ray, CT 3가지가 있다. 혈액검사 프로세스는 간호사가 혈액검사가 필요한 환자에게서 채혈을 하는 과정으로 구성되어 있고, X-ray와 CT 프로세스는 각각 촬영하는 과정이 프로세스가 된다. Diagnosis 프로세스는 환자가 여러 검사를 거친 후에 그 결과를 토대로 의사가 환자의 상태를 확인하고, 그에 따르는 조치를 지시하거나 확인하는 프로세스이다. Diagnosis 프로세스는 환자의 상태를 보는 주체가 의사라는 점에서는 Exam 프로세스와 동일하나, 응급실에 도착한 후 시행하는 초진이 아니라 환자가 검사를 받고 그 결과를 가지고 환자를 보는 것이라는 점에서 차이가 있다. 환자들은 필요한 경우 본원에 협진을 요청하여 본원 당직 의사의 진료를 받게 되는데 이 경우를 협진 프로세스로 정의하였다. 이 때, 본원에서



<그림 3> 응급실 프로세스 구조

는 분과 별로 당직 의사를 1명씩 배정하고 있다.

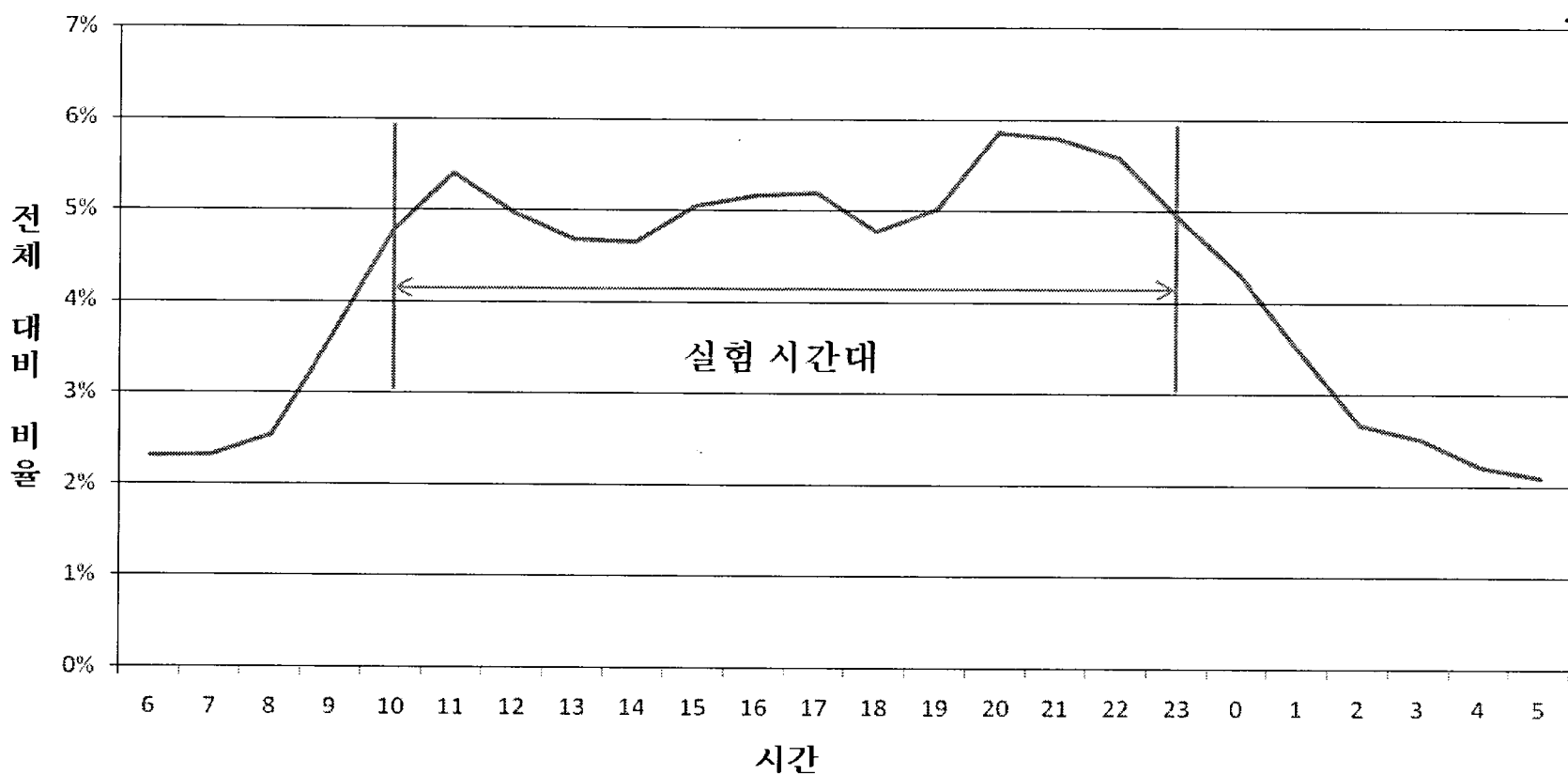
환자가 응급실을 떠나는 것은 본원에서의 입원과 퇴원의 두 가지 중 하나이다. 입원 및 퇴원은 환자의 상태에 대한 의사의 소견이 필요하므로 Diagnosis 프로세스에서 결정된다. 먼저 환자는 입원을 해야 한다고 결정된 뒤 응급실에서 병실이 배정되기를 기다리는 상태로 있게 되는데 이 상태를 병실 배정 프로세스라 하고, 이 후 병실이 배정되고 나면 다시 Reg/Pay 프로세스로 가서 입원 접수를 하게 된다. 입원 접수를 하기 위해 Reg/Pay 프로세스를 다시 찾은 환자들은 처음 Reg/Pay 프로세스를 방문한 환자들과 별도의 구분 없이 서비스를 받는다. 병실이 배정되어 입원 접수를 마친 환자들은 배정된 병실로 이동하기 전 입원을 위한 준비를 마친 뒤 실제로 입원을 하게 되어 응급실을 떠나게 된다. 이와 같이 각각의 프로세스로 구성된 큐잉 네트워크 모델은 <그림 3>와 같은 구조로 간단히 나타낼 수 있다.

<그림 3>에서 각 프로세스 간의 연결과 환자들의 이동 방향을 알 수 있다. 두 개의 프로세스에서 환자가 반드시 하나의 방향으로만 이동하는 경우가 있고, 양방향으로 이동할 수 있는 경우도 있다. 예를 들어, Exam 프로세스를 마친 환자는 반드시

Reg/Pay 프로세스로 이동해야 하고, 접수를 마친 뒤에 다시 Exam 프로세스로 이동할 수는 없다. 그러나, X-ray 프로세스와 CT 프로세스는 양방향으로 움직일 수 있어 X-ray 프로세스를 마친 뒤 CT를 촬영하거나, CT를 마친 뒤 X-ray를 촬영하는 경우가 모두 가능하게 된다. 이와 같이 도착한 환자들은 네트워크 안에서 여러 가지의 프로세스를 거친 후 응급실을 떠나게 된다.

보통 응급실은 항상 붐빈다는 인식이 강하다. 그러나 실제로는 새벽과 같은 시간대에는 다른 시간대에 비해서 그리 붐비는 현상이 없다는 것을 실제 데이터를 통해 파악할 수 있었다. 과거 데이터를 통해서 시간대별로 환자들이 응급실에 도착하는 분포는 <그림 4>와 같다.

응급실의 의사 및 간호사들과 인터뷰한 결과 환자들의 대기시간이 길어지는 혼잡 시간대는 10시부터 23시까지라는 것을 알 수 있었다. 실제 데이터를 통해 환자 방문 비율을 살펴보면, 23시부터 10시까지 오는 환자들은 전체 24시간 대비 28.1%에 지나지 않았고, 10시부터 23시까지 혼잡한 시간에 오는 환자들은 전체 대비 71.9%에 가까웠다. 또한, 23시부터 10시까지는 긴 대기시간으로 인한 문제가 상대적으로 덜 발생하기 때문에 이 시간대에



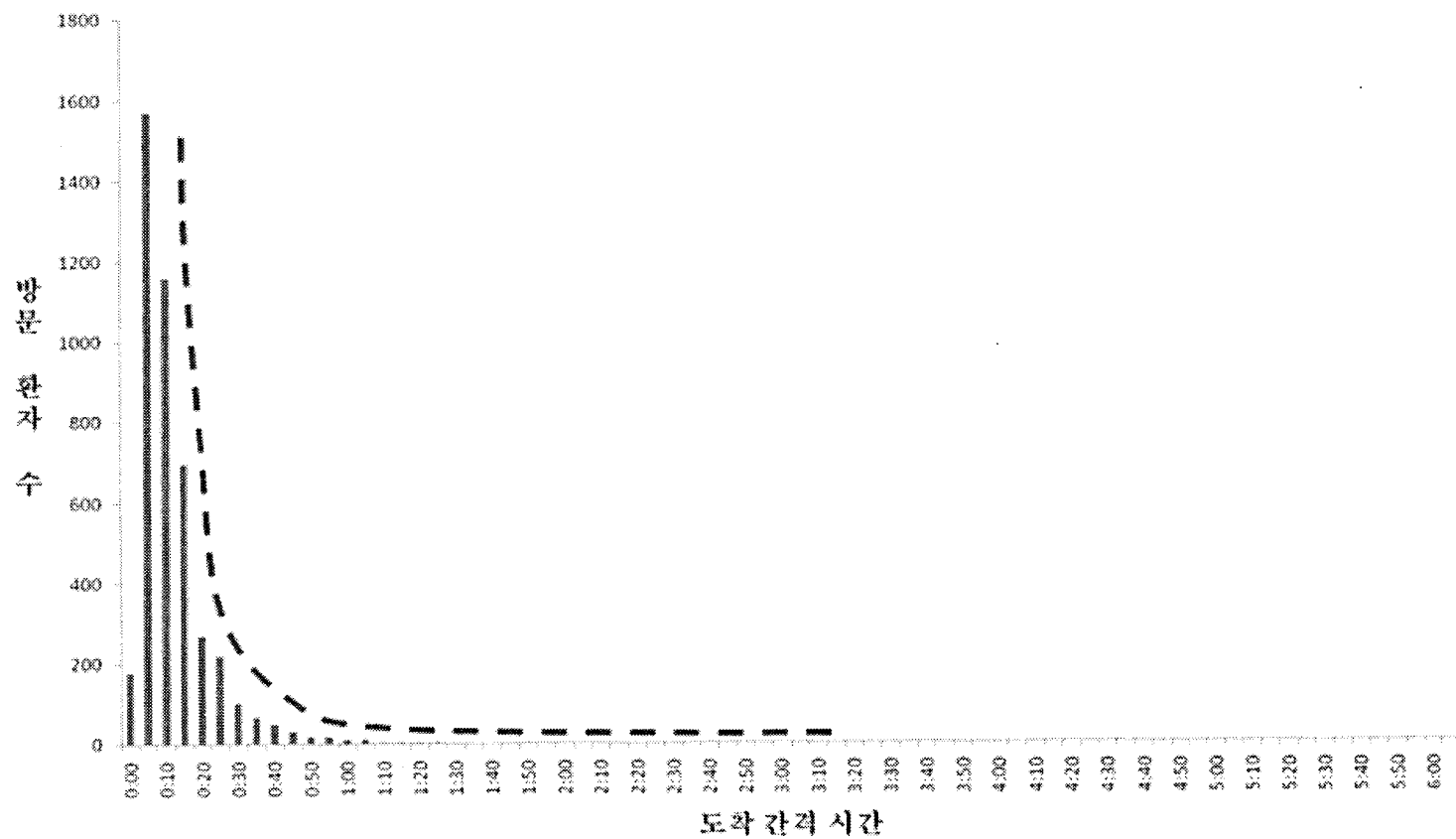
<그림 4> 시간대별 방문환자 비율

대해서는 큐잉 네트워크 분석을 통한 효용이 크지 않을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 10시부터 23시에 이르는 응급실의 혼잡 시간대에 대한 정확한 분석이 시급하다고 판단하여 이 시간대에 대한 분석을 연구 범위로 설정하였다.

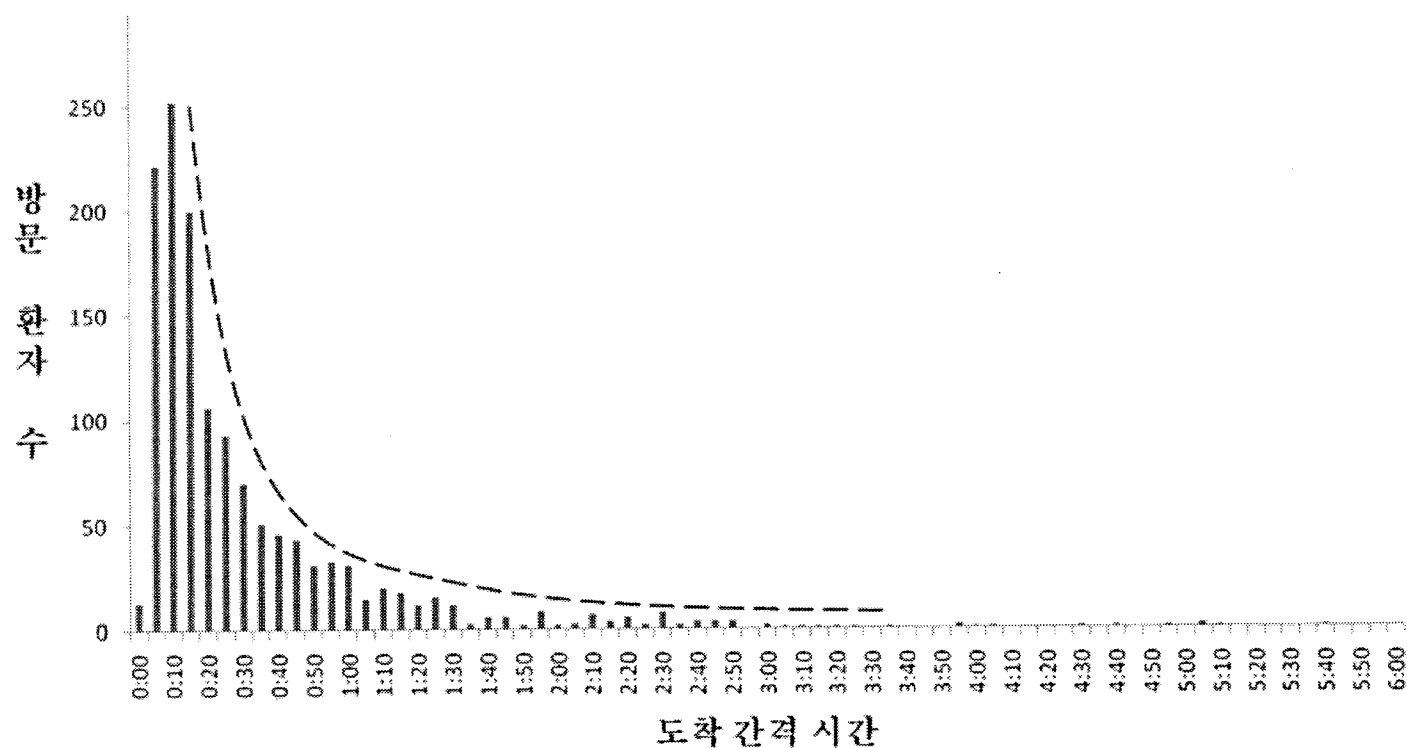
본 연구에서는 약 한달 간의 기간 동안 응급실을 방문한 4409명의 환자에 대하여 실제 데이터를 수집하고 분석하였다. 데이터 분석에 앞서 응급실을 방문한 전체 환자에 대하여 도착 간격 시간 분포를

포를 지수 분포로 모델링 하는 것이 적합한가를 살펴보고, 각각의 Triage 별로도 확인하였다. 전체 환자의 도착 간격 시간 분포는 <그림 5>에서 나타난 것과 같이 지수 분포로 근사화 할 수 있음을 보여준다.

Triage별 도착 간격 시간 분포도 확인해 본 결과 전체 환자의 경우와 같이 지수 분포와 매우 유사한 것으로 나타났다. <그림 6>은 Triage 4환자의 도착 간격 시간 분포를 나타내고 있다.



<그림 5> 전체 환자의 도착 간격 시간 분포



<그림 6> Triage 4 환자의 도착 간격 시간 분포





<표 3> Triage별 프로세스 도착률( $\lambda_{tj}$ )(단위 : 시간당 환자의 수)

$t \backslash j$	Triage	Exam	Reg/Pay	X-ray	CT	혈액검사	Diagnosis	협진	병실 배정	입원 준비
Triage 1	0.049	0.051	0.133	0.024	0.017	0.013	0.090	0.098	0.081	0.037
Triage 2	0.347	0.393	1.035	0.852	0.784	1.075	1.052	0.927	0.631	0.217
Triage 3	3.181	4.621	11.002	3.607	0.951	2.943	6.788	0.914	2.037	1.760
Triage 4	1.449	2.385	4.500	0.281	0.091	0.404	2.431	0.311	0.146	0.540
Triage 5	0.074	0.094	0.129	0.008	0.001	0.017	0.035	0.001	0.000	0.010

<표 4> 프로세스 별 총 도착률( $\lambda_j$ )(단위 : 시간당 환자의 수)

	Triage	Exam	Reg/Pay	X-ray	CT	혈액검사	Diagnosis	협진	병실배정	입원준비
$\lambda_j$	5.10	7.54	16.80	4.77	1.84	4.45	10.40	2.25	2.89	2.57

<표 5> 프로세스 별 서비스 시간과 서버의 수

	Triage	Exam	Reg/Pay	X-ray	CT	혈액검사	Diagnosis	협진	병실 배정	입원 준비
서비스 시간(분)	6	6	5	11	20	8	5	20	35	58
서버 수( $s_j$ )	1	2	1	1	1	1	1	1	2	3

수는 실제 응급실을 관찰한 결과와 전문가 설문조사 및 의견 수렴 등을 통해 파악하였고, 그 결과는 <표 5>와 같다.

큐잉 네트워크를 적용하여 <표 4>와 같이 각 프로세스 별 환자의 총 도착률을 구하고, <표 5>의 프로세스 별 서비스 시간과 서버 수를 이용하여 현 응급실 프로세스를 <그림 7>와 같은 M/M/s 큐잉 모델로 Microsoft Excel을 통해 분석하였다. <그림 7>에서 보여진 Triage 프로세스의 예를 보면 시간당 도착하는 평균 환자 수는 5.10명이고, 환자당 서비스 시간이 평균 6분이므로 서버당 서비스율은 시간당 10명이며, 서버 수는 1이다. 이러한 데이터를 입력하여 분석한 결과 평균 대기인원은 0.531명, 평균 대기시간은 0.104시간, 즉 6.245분으로 나타났다. 각 프로세스를 위와 동일한 방법으로 분석하여 정리하면 <표 6>과 같다.

각 프로세스는 <표 6>에서 나타낸 것과 같이 3가지 지표를 통해 분석될 수 있다. 첫 번째 평균 대기인원은 각 프로세스에서 평균적으로 대기하고

있는 사람의 수로 환자가 어떤 프로세스에 도착했을 때 서비스를 받기 위해 이미 기다리고 있는 사람의 수를 의미한다. 두 번째 분석지표인 평균 대기시간은 프로세스에서 한 명의 환자가 서비스를 받기 전 평균적으로 대기하는 시간을 의미한다. 세 번째 분석지표인 총 평균 대기 시간은 고객당 응급실에서 평균적으로 대기한 총 시간으로 다음의 식에 의해 계산된다.

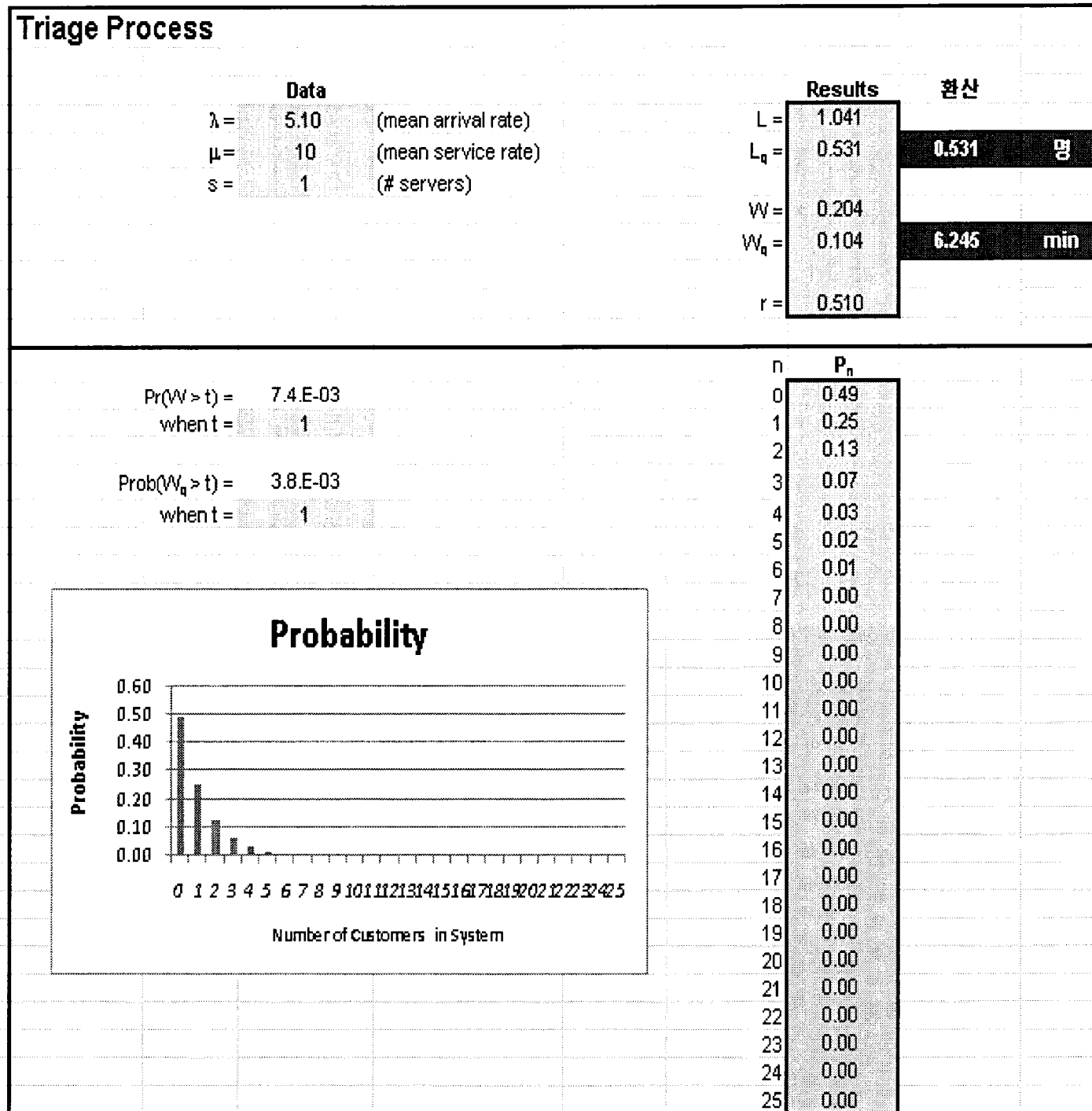
$$L_{qT} = \sum_j L_{qj} \tag{3}$$

$$W_{qT} = \frac{L_{qT}}{\sum_t \sum_j a_{tj}} \tag{4}$$

$L_{qj}$  : 프로세스  $j$ 에서 평균적으로 대기하고 있는 사람의 수

$a_{tj}$  : Triage  $t$  환자의 시스템 외부에서 프로세스  $j$ 로의 평균 도착률

분석 결과 X-ray, CT, Diagnosis, 협진, 병실 배



<그림 7> M/M/s 큐잉 모델 분석용 Microsoft Excel 템플릿

<표 6> 프로세스 별 분석 결과인 평균 대기 인원( $L_{qj}$ ), 평균 대기시간( $W_{qj}$ ) 및 전체 시스템 내에서의 총 평균 대기시간( $W_{qT}$ )

프로세스	평균 대기인원 ( $L_{qj}$ ) (단위 : 명)	평균 대기시간 ( $W_{qj}$ ) (단위 : 분)	총 평균 대기 시간( $W_{qT}$ ) (단위 : 시간)
Triage	0.53	6.25	3.837
Exam	1.06	8.46	
Reg/Pay	4.02	14.37	
X-ray	6.13	77.07	
CT	0.98	31.91	
혈액 검사	0.87	11.69	
Diagnosis	5.61	32.40	
협진	2.26	60.11	
병실 배정	4.19	86.82	
입원 준비	3.29	77.01	

정, 입원 준비 6곳의 프로세스가 대기시간이 길고 대기인원이 많은 것으로 확인되었다. 구체적으로, CT와 Diagnosis 프로세스는 약 30분 정도의 대기 시간을 가지는 것으로 나타났고, X-ray, 협진, 병실 배정, 입원 준비 프로세스는 환자들이 약 1시간 이상을 대기하는 것으로 나타났다. 또한, 전체 시스템에서 서비스 시간을 제외하고 환자들이 평균적으로 기다리는 시간은 3.837시간 정도로 상당히 오랜 시간을 서비스를 받기 위해 기다리는 것으로 파악되었다.

3가지 분석지표 외에 서비스를 받는 시간을 포함하여 환자들이 응급실에서 보내는 총 체류시간 ( $W_T$ )은 식 (5)와 식 (6)에 의해 계산된다.

$$L_j = \sum_j L_j \quad (5)$$

$$W_T = \frac{L_T}{\sum_t \sum_j a_{tj}} \quad (6)$$

$L_j$  : 프로세스  $j$ 에 평균적으로 있는 사람의 수

$a_{tj}$  : Triage  $t$  환자의 시스템 외부에서 프로세스  $j$ 로의 평균 도착률

본 연구에서는 환자들의 총 체류시간이 약 5.25시간으로 나타나 실제 응급실의 체류 시간에 대한 과거 데이터와 매우 유사한 결과를 보였다. 또한 위 결과에 대하여 응급실 담당자들은 현실을 잘 반영한 분석이라 평가했다.

## 4. 프로세스 개선 방안

현재 응급실에서는 장비의 증설과 인력 충원을 통한 서버 수의 증가, 프로세스 개선 및 보조 인력 증원 등의 프로세스 개선 방안을 주요 대안으로 고려하고 있으며, 이를 통한 대기시간의 단축 효과가 어느 정도인지에 관심을 가지고 있다. 앞서 현 프로세스를 분석한 결과 환자들의 대기시간이 상당한 것으로 나타난 프로세스는 모두 6개로, 병실 배정 프로세스의 대기시간이 86.82분으로 가장 길었

고, X-Ray와 입원 준비, 협진, Diagnosis, CT 프로세스는 각각 대기시간이 77.07분, 77.01분, 60.11분, 32.40분, 31.91분으로 다른 프로세스에 비하여 상대적으로 높은 대기시간이 관측되었다. 그러나 병실 배정과 입원 준비 프로세스의 경우 다른 프로세스와 달리 응급실 내의 변화만으로 현재의 문제점을 해결하는 것은 불가능하다. 예를 들어, 병실 배정 프로세스의 서버 수를 증가시키기 위해서는 응급실이 속해 있는 본 병원의 병상 점유율을 낮추는 등의 노력이 필요한데 이는 본 병원에 관련된 부분이기 때문에 응급실에서 통제하는 것이 불가능하다. 따라서 병실 배정과 입원 준비 프로세스에 대해서는 개선 방안을 다루지 않고, X-ray, CT, Diagnosis, 협진의 4개의 프로세스에 대하여 개선 방안을 분석하였다.

### 4.1 서버 수 변경

환자들이 오랫동안 대기하는 경우 서버의 수를 증가시키게 되면, 대기시간이 단축되는 프로세스의 개선 효과를 기대할 수 있다. 따라서 현 응급실의 프로세스 중 앞서 분석한 X-ray, CT, Diagnosis, 협진의 총 4개 프로세스에 대하여 서버의 수가 현재보다 1씩 증가 되는 경우를 분석하고, 이를 방안 1이라 한다. 방안 1에 대하여 실험한 결과는 <표 7>에 나타내었다.

<표 7>에서 응급실 진단의 핵심 장비인 X-Ray와 CT 프로세스에 대하여 서버의 수를 2로 증가시킨 경우를 보면, X-Ray 프로세스의 대기시간은 77.07분에서 2.60분으로 단축되었고, CT 프로세스는 31.91분에서 2.09분으로 단축되었다. 실제로 X-Ray와 CT 등의 장비를 추가적으로 구매하여 서버 수를 증가시키는 것은 상당한 구매 및 설치 비용이 투입되므로 쉽지 않은 결정이나, 일단 서버가 증가할 경우 대기시간 단축의 효과는 매우 크기 때문에 장기적인 관점에서는 유익할 것으로 보인다. 다음으로 Diagnosis와 협진 프로세스의 경우, 진료 의사를 충원하여 서버의 수를 한 명 더 증가시키게

되면 대기시간은 각각 32.40분과 60.11분에서 1.15분과 3.28분으로 단축되는 것을 확인할 수 있다. Diagnosis와 협진 프로세스에 인력을 충원하는 방안은 본 병원과의 협조를 통해 해결하는 것이 가능할 것으로 생각되는데, 이를 위하여 인력의 재배치 또는 보다 탄력적인 스케줄 운영을 통하여 추가적인 비용 없이 이와 같은 방안을 적용할 수 있을 것으로 예상되며, 이를 통하여 환자들의 대기시간이 상당히 단축될 것이다.

<표 7>에 나타난 4개의 프로세스에 대하여 서버의 수를 증가시키는 방안을 모두 적용할 경우 총 대기시간은 3.837시간에서 1.930시간으로 약 49.70%의 감소율을 보인다. 방안 1은 즉각적인 비용이 발생하지만 응급실의 특성상 지나친 대기시간 등으로 인해 사고나 사망 등과 같은 문제가 발생할 가능성도 있기 때문에 장기적으로는 충분한 투자 가치가 있다는 것에 병원 관계자들이 동의하여, 현재 방안 1에 대하여 긍정적으로 검토 중이다. 또한, 현재 추가적으로 비용 대비 효용에 대한 분석을 진행하고 있다.

#### 4.2 서비스 시간 단축

프로세스 개선을 위한 또 다른 방안은 작업 설계 및 작업 준비 시간 개선 등을 통해 서비스 시간을 단축하는 것이며 이를 방안 2라 한다. 본 연구에서는 병원 관계자와의 인터뷰를 통하여 실제 가능한 정도로 서비스 시간을 단축하여 프로세스가 개선되는 정도를 확인해 보았으며 그 결과는 <표 8>과 같다.

X-Ray와 CT 프로세스의 경우, X-ray나 CT를 촬영하는 시간 이외에 환자들이 준비하는 시간이 어느 정도 소요되는 것으로 파악되었는데, 예를 들어 CT 프로세스를 위해 기다리는 환자들은 CT 촬영 시간에 맞추어 혈압을 미리 측정하거나 조영제 주사를 미리 맞는 등의 준비를 시작함으로써 서비스 시간을 감소시킬 수 있을 것이다. 따라서 보조 인력을 투입하여 진료의 준비시간을 줄이거나 작업 효율 개선을 통해 작업 시간을 감소시키면 X-Ray 프로세스는 11분에서 9분, CT 프로세스는 20분에서 17분으로 서비스 시간이 단축될 수 있을 것

<표 7> 방안 1 : 서버 수 변경 실험 결과

	서버 수 (단위 : 명)		대기시간 (단위 : 분)		감소량(%)	방안 1 조합 총 평균 대기시간 (단위 : 시간)
	현행	방안 1	현행	방안 1		
X-Ray	1	2	77.07	2.60	96.62%	1.930 (49.70% 감소)
CT	1	2	31.91	2.09	93.46%	
Diagnosis	1	2	32.40	1.15	96.44%	
협진	1	2	60.11	3.28	94.55%	

<표 8> 방안 2: 서비스 시간 단축 실험 결과

	서비스 시간 (단위 : 분)		대기시간 (단위 : 분)		감소량(%)	방안 2 조합 총 평균 대기시간 (단위 : 시간)
	현행	방안 2	현행	방안 2		
X-Ray	11분	9분	77.07	22.69	70.56%	2.439 (36.43% 감소)
CT	20분	17분	31.91	18.60	41.70%	
Diagnosis	5분	3.5분	32.40	5.39	83.35%	
협진	20분	17분	60.11	29.93	50.20%	

으로 보아 프로세스의 개선 정도를 확인하였다. 그 결과 X-Ray 프로세스에서의 대기시간은 77.07분에서 22.69분으로 현재에 비하여 70.56% 정도 단축되었고, CT 프로세스에서는 대기시간이 31.91분에서 18.60분으로 41.71% 정도 단축된 것을 확인할 수 있다. Diagnosis와 협진 프로세스에서는 진료 의사 및 협진 의사의 동선 개선과 숙련도 증가 등을 통하여 서비스 시간을 감소시키는 것이 가능할 것이다. 이 때 Diagnosis 프로세스는 서비스 시간이 5분에서 3.5분으로, 협진 프로세스는 20분에서 17분 정도로 단축될 수 있고, 이 경우의 대기시간은 <표 8>과 같이 Diagnosis 프로세스는 32.40분에서 5.39분으로 83.36%, 협진 프로세스는 대기시간이 60.11분에서 29.93분으로 50.21%가 단축되었다.

위의 대기시간이 긴 프로세스 4개에 대하여 서비스 시간의 감소를 모두 적용하는 경우 환자당 응급실 내에서 기다리는 총 시간은 3.837시간에서 2.439시간으로 약 36.43%의 감소율을 보였다. 서비스 시간을 단축시키는 경우는 서버의 수를 증가시키는 방안에 비하여 대기시간의 감소 폭은 상대적으로 작지만 추가적인 비용은 거의 발생하지 않으면서 대기시간을 1/3 이상 감소시킬 수 있어 매우 의미 있을 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

지금까지 우리는 병원 응급실의 프로세스를 분석하고 대기시간 단축을 위한 대안에 대한 분석을 실시하였다. 응급실의 열악한 환경과 긴 대기시간으로 인한 사고, 사망 등 문제점에 대한 관심이 증가하고 있는 현실에서 응급실 운용의 효율성이 주요 종합병원들에게 주요한 이슈가 되고 있다. 본 연구에서는 응급실의 프로세스를 잭슨 네트워크를 이용하여 각 프로세스마다 환자들의 평균 도착률을 계산하고, M/M/s 큐잉 모델을 적용하여 환자들의 평균 대기시간을 계산하였다. 우리가 프로젝트를 진행한 병원의 응급실에서는 X-Ray와 CT, Diagnosis, 협진, 병실 배정, 입원 준비 프로세스에서

환자들이 대기하는 시간이 상당히 길다는 사실을 확인할 수 있었다. 이에 따라 우리는 각 프로세스의 서버 수를 증가시키는 방안과 각 서버의 서비스 시간을 단축시키는 방안에 대하여 추가 분석을 실시하였다. 방안 분석에서 우리는 각각의 방안에 따라 대기 인원 및 대기시간이 상당히 단축됨을 확인하였고, 각 방안의 조합으로 예상되는 총 대기시간의 감소 또한 확인할 수 있었다. 분석된 방안의 적용을 위해 서버 수 변경에 대한 비용 대비 효과의 추가 분석을 현재 진행하고 있다.

향후 응급실 운용에 관한 프로세스 분석에서는 응급실이 속해 있는 본 병원과의 연관성이 깊고 응급실의 프로세스에 많은 영향을 끼치는 본 병원으로의 입원 대기 환자들에 대한 연구도 필요할 것이다. 시뮬레이션(simulation) 등 다른 방법을 활용하여 응급실 프로세스를 분석하고, 이를 본 연구 결과와 비교 분석하거나, 생산 관리의 관점에서 보다 효율적으로 응급실 프로세스를 설계하는 연구도 가능할 것이다. 또한, 본 연구에서는 혼잡한 시간대에 한정하여 현재 프로세스를 분석하고 여러 가지 개선 방안을 제시하였는데, 이에 더 나아가 전체 시간대에 대하여 각 시간대별로 필요한 인력을 파악하여 효과적으로 스케줄링 하는 등의 보다 유동적이고 효율적인 운영 방안에 대한 추가 연구도 필요할 것으로 예상된다. 응급실 프로세스의 혼잡도 및 환자들의 대기시간 등을 실시간으로 측정하여 현 상황을 분석하고, 즉각적으로 대처할 수 있는 시스템을 개발하는 것도 흥미로운 연구 주제가 될 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Abujudeh, H., B. Vuong, and S.R. Baker, "Quality and operations of portable X-ray examination procedures in the emergency room : queuing theory at work," *Emergency Radiology*, Vol.11, No.5(2005), pp.262-266.
- [2] Albin, S.L., J. Barrett, D. Ito, and J.E. Muel-

- ler, "A queueing network analysis of a health center," *Queueing Systems*, Vol.7, No.1(1990), pp.51-61.
- [3] Broyles, J.R. and J.K. Cochran, "Estimating business loss to a hospital emergency department from patient renegeing by queueing-based regression," *Proceedings of IIE Industrial Engineering Research Conference*, (2007), pp.613-618.
- [4] Green, L.V., "Using queueing theory to increase the effectiveness of emergency department provider staffing," *Academic Emergency Medicine*, Vol.13, No.1(2006), pp.61-68.
- [5] Hillier F. and G. Lieberman, *Introduction to Operations Research*, 8<sup>th</sup> edition, McGraw Hill, 2005.
- [6] McQuarrie D.G., "Hospital utilization levels. The application of queueing theory to a controversial medical economic problem," *Minnesota Medicine*, Vol.66, No.11(1983), pp. 679-686.
- [7] Roche, K.T. and J.K. Cochran, "Improving patient safety by maximizing fast-track benefits in the emergency department—a queueing network approach," *Proceeding of IIE Industrial Engineering Research Conference*, (2007), pp.619-624.
- [8] Rosenquist, C.J., "Queueing analysis: a useful planning and management technique for radiology," *Journal of Medical Systems*, Vol. 11, No.6(1987), pp.413-419.
- [9] Siddhartan, K., W.J. Jones and J.A. Johnson, "A priority queueing model to reduce waiting times in emergency care," *International Journal of Health Care Quality Assurance*, Vol.9, No.5(1996), pp.10-16.