

병원 외래 환자 예약 방법 설계를 위한 시뮬레이션 최적화 기법의 효과 평가에 관한 연구

A study on effectiveness of simulation optimization for outpatient appointment scheduling

장훈, 이태식

KAIST 산업 및 시스템 공학과

hoon.jang@kaist.ac.kr

Abstract

대부분의 병원이 예약을 기반으로 운영되고 있음을 감안 할 때, 환자 흐름의 효율적 관리를 위해 예약 시스템은 병원 운영 상에 중요한 역할을 한다. 환자 예약 방법 설계에 관한 기존 연구들은 연구 범위가 제한적이기 때문에 다양한 병원에서 최적 효과를 기대하기 어려워, 최근 이를 보완하는 시뮬레이션 최적화(SO) 기법이 연구되고 있다. 그러나 이 기법을 효과적으로 이용하기 위해서는 대상 모델 구축에 적지 않은 노력이 필요하다. 이에 본 연구에서는 병원 운영상의 변동성을 통해 다양한 병원을 모델링 하여 SO 기법이 효과적으로 적용될 수 있는 병원환경에 대해 파악하였다. 그 결과, 한 세션의 예약 환자수가 가장 중요한 인자로 분석되었으며 이러한 연구 결과는 환자 예약 방법 설계 시 SO 기법 적용 가이드라인의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

대표적 의료서비스 전달 체계인 병원 외래에서 환자 흐름을 효과적으로 관리하는 것은 의료 서비스의 질에 큰 영향을 끼친다. 특히 많은 환자들이 몰리는 국내 대형병원 외래 진료 과의 경우 시스템이 포화 상태에 가깝게 운영되어 여러 가지 문제점들이 발생한다. 환자들이 진료 예약을 위해 오랜 시간을 대기해야 하고, 진료 당일에도 많은 시간을 기다리게 되며, 의료진이 개별 환자에게 할애할 수 있는 진료 시간이 짧고, 의료진의 초과근무시간이 늘어나게 된다. 현재 국내 많은 병원이 운영 및 관리에 필요한 비용 절감에 큰 부담을 느끼고 있는 상황에서, 이들의 한계 능력에 가깝게 병원을 운영하는 것은 불가피한 선택이다. 이에 따라, 병원 외래 입장에서 환자 흐름의 효과적 관리는 병원 운영상의 중요한 이슈가 되고 있다. 특히 많은 병원들이 예약을 기반으로 운영되고 있음을 고려해 볼 때, 환자 흐름의 관리라는 측면에서 예약 시스템은 중요한 위치를 차지한다.

병원 외래 환자의 예약 스케줄링에 관한 기존 연구들은, 크게 병원 외래를 수리적 모델로 표현하고 이에 대한 최적 예약 방법을 찾아내는 분석적 방법과 병원 외래에 대한 시뮬레이션 모델을 구축하여 경험적으로 우수한 예약 방법을 대입해 최적의 예약 방법을 찾아내는 시뮬레이션 방법으로 분류할 수 있다. 그러나 두 방법 모두 특정 병원환경의 모델에 대한 결과를 도출하기 때문에, 모델의 가정이 바뀌거나 상황이 다른 병원에 대해서는 좋은 성능

을 보장하기 어려웠다. 이에 최근 이를 보완하는 시뮬레이션 최적화 기법이 연구되기 시작하였다. 이 기법은 대상 병원의 특성에 맞게 병원을 모델링을 한 후, 탐색 알고리즘을 이용해 병원의 특성에 맞는 우수한 성능의 예약 방법을 찾아내는 기법이다. 따라서, 대상 병원의 특성을 효과적으로 반영하는 모델링과 그에 대한 검증에 많은 노력이 요구된다.

한편, 시뮬레이션 최적화는 병원의 특성에 따라 효과의 크기가 좌우될 수 있다. 예를 들어, 일정한 서비스 시간을 가지며 환자가 정시에 도착하는 병원의 경우 정해진 시간 간격으로 환자를 한 명씩 예약 하면 되기 때문에, 시뮬레이션 최적화를 위해 병원을 모델링하고 검증하는 작업은 불필요 할 것이다. 그러나, 환자도착 정시성이 낮거나 진료 과정이 다양한 병원의 경우, 이러한 특성을 효과적으로 반영할 수 있는 시뮬레이션 최적화를 이용한 예약 방법이 기존의 예약 방법보다 우수한 성능을 낼 것이라고 기대할 수 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 가상으로 다양한 병원 외래의 환경을 모델링하고 시뮬레이션 최적화 기법을 적용하여 예약 방법을 생성해 봄으로써, 시뮬레이션 최적화를 예약 스케줄링에 적용할 때, 기대할 수 있는 성능 개선 효과와 최적의 성능을 발휘할 수 있는 병원 외래의 환경을 구체화 해보고자 한다.

2. 연구 동향

환자 예약 방법 설계에 관한 연구는 연구 방법에 따라 수리 분석적 방법과 시뮬레이션 기반 연구 방법으로 분류 할 수 있다. 수리 분석적 방법은 대기 이론, 비선형 계획법 과 같은 수리 모델을 이용해 최적 성능의 예약 방법을 찾는 방법으로, Lindley (1952), Jannson (1966), Mercer (1973) 등이 대기이론을 통해 예약 스케줄링에 관한 연구를 수행하였으며, Wang (1993) 은 환자의 flow time을 phase-type 분포로 표현하고 이를 최소화 하는 예약 스케줄링 방법인 ‘dome pattern rule’을 제안 하기도 하였다.

한편, 시뮬레이션 기반 연구는 대개 병원을 모델링하고 예약 방법을 heuristic 방법을 이

용하여 생성한 후 이를 평가하는 방법이 주를 이루었다. Bailey (1952)는 첫 예약 slot에 2명을 예약하고 나머지 환자는 진료 시간에 따라 한 명씩 예약하는 기법을 제안하였다. Blanco White and Pike (1964) 는 환자 도착 패턴에 불확실성이 존재할 경우 multiple block scheme이 single-block scheme에 비해 우월한 성능을 보임을 밝혔다. Ho and Lau (1992)와 Rohleder and Klassen (2000) 등은 세션 초반과 후반에 환자의 예약 간격을 달리 하는 Variable-I concept rule을 제안하였으며 이는 환자 대기시간 감소에 효과적임을 보였다. Cayirli et al.(2006, 2008) 은 환자 예약 시 초/재진의 분류를 통해 예약 방법의 성능 향상을 꾀하는 연구를 진행하였다.

시뮬레이션 최적화는 최근에 들어 예약 방법 설계에 응용되기 시작하였는데, ISHINO et al. (2008) 와 Klassen and Yoogalingam (2009)의 연구가 대표적이다. ISHINO et al.(2008) 의 경우 환자 예약 간격을 고정하고 각 예약 간격 마다 배치할 최적환자 수를 시뮬레이션 최적화를 이용해 산출하였으며, Klassen and Yoogalingam (2009) 은 이들이 제안한 수리 모델을 통한 예약 스케줄링 설계 방법을 시뮬레이션 최적화를 이용해 검증하였다. 그러나, 병원 외래 환자 예약 방법 설계에 있어서 시뮬레이션 최적화 기법에 대한 효과를 평가하고 분석하는 연구는 없는 것으로 파악되었다.

본 연구에서는 시뮬레이션 최적화를 이용하여 생성한 예약 방법이 기존 연구에서 제안된 예약 방법들과 비교해 우월한 성능을 보이는 병원 환경을 파악하고 이를 구체화 함으로써 예약 방법 설계에 시뮬레이션 최적화 기법을 보다 효과적으로 이용할 수 있도록 하는 기반을 제공하고자 한다.

3. 연구 방법

3.1 문제정의

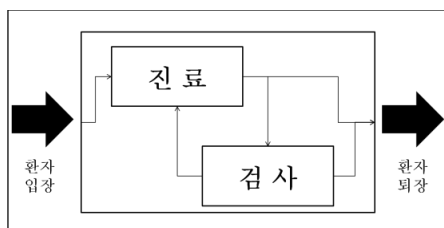
본 연구의 목표는 다양한 병원 환경에 대해 기존의 연구에서 제안되었던 대표적인 여섯 개의 예약 방법과 시뮬레이션 최적화를 통해 생성한 예약 방법과의 성능 차이를 비교 분석

하여 병원 외래 환자의 예약 스케줄링 시 시뮬레이션 최적화가 유용하게 쓰일 수 있는 병원의 환경을 구체화 하는 것이다. 본 연구에서 가정한 병원은 대부분의 연구에서 제안된 예약 방법이 의사 한 명이 진료하는 병원인 경우를 감안해, 예약을 기반으로 운영되며 의사 한 명이 진료하는 병원으로 한정하여 연구를 진행하였다.

3.2 시뮬레이션 모델링

3.2.1 개념 모델

다음 [그림 1] 은 본 연구에서 정의한 가상의 병원 환경을 표현한 개념 모델이다. 대부분의 기존 연구와 달리 본 연구에서는 환자 입장 후 환자의 특성에 따라 의사에게 진료만 받는 경우, 진료와 검사를 받는 경우 그리고 진료 검사 후 다시 진료를 받는 경우 등의 서로 다른 총 세 가지 진료 과정을 정의함으로써, 기존의 연구보다 다양한 환경의 병원을 모델링 하여 실험 할 수 있도록 하였다.



[그림 1] 병원 외래의 개념 모델

3.2.2 시뮬레이션 입력 변수 설계

본 연구에서는 관련 문헌 연구와 국내 대형 병원과의 프로젝트를 통해 얻은 자료들을 바탕으로 병원의 특성을 규명 짓는 대표적인 연구 요인을 정의하였다.

[표 1] 연구에 포함된 연구 요인

연구 요인	세션 당 예약 환자수 (N)
	환자 도착 정시성 (Punc)
	예약 부도율 (No-show)
	비 예약 환자 비율 (Walk-ins)
	진료 과정의 복잡도 (O.C)
	진료 시간의 변동 계수 (SV)

[표 1]은 본 연구에서 정의한 연구 요인을 정리한 표이며 이들 요인의 수준 값이 시뮬레이션 모델의 입력 변수로 적용되었다. 각 연구요인의 특성과 시뮬레이션 모델의 입력 값은 Appendix 1 을 참고한다.

4. 실험 설계

본 연구에서는 여섯 개의 요인과 그 수준(3 수준)을 고려해, 반응 표면 분석법을 이용하여 실험을 수행하였다. 실험 설계는 여섯 개의 요인에 대한 반응 표면 분석 설계방법 중 Half-design 을 채택해 총 45개의 시나리오를 생성하고 각 시나리오에 대해 시뮬레이션 실험을 실시한 후 MINITAB 14® 를 이용하여 결과를 분석하였다.

4.1 예약 방법

지금까지 제안되고 연구된 많은 예약 방법들 가운데 본 연구에서는 Cayirli et al. (2006) 의 연구에서 평가된 여섯 개의 대표적인 예약 방법들과 시뮬레이션 최적화 기반 예약 방법의 성능을 비교 평가하였다.

병원 외래에서 환자의 평균 진료 시간을 μ , 진료 시간 편차를 σ 라 할 때, T_i 를 i 번째 환자의 예약 시간이라 정의하면, 여섯 개의 예약 방법들은 다음의 [표 2] 와 같이 표현 할 수 있다. 특히 환자마다 예약시간의 간격이 다른 OFFSET, DOME, 2BDM 방법은 그 간격을 조절하는 변수들이 있는데, 이러한 변수들의 최적 값들은 기존의 연구 (Ho and Lau, 1992), (Cayirli et al. 2006) 에서 제시된 바 있다. 그러나 제안된 값들은 연구에서 사용된 모델에 최적화된 값들로, 본 연구에서 정의된 병원의 환경에 이들 값을 적용하면 세션이 끝난 이후 시점에 환자를 예약 하게 하는 등의 비 정상적인 예약 방법이 도출되어 본 연구에서는 이들 변수 값을 임의로 조정하여 정상적인 예약 방법을 생성하도록 하였으며 수정된 값은 Appendix 2에 정리되어 있다.

한편, 세션의 한계 예약 환자 수를 초과하여 환자를 예약 해야 하는 경우, 기존의 예약 방법으로는 초과 예약 환자에 대한 최적 예약 방법이 정의되어 있지 않아, 본 연구에서는 세

선의 처음부터 환자를 한 명씩 중복해서 예약하는 방식 (Double booking)을 이용하여 설계하였다.

[표 2] 본 연구에서 평가된 예약 방법

예약 방법	정의
2BEG	$T_1 = T_2 = 0$ $T_i = T_{i-1} + \mu$ for $i = 3, \dots, n$
MBFI	$T_i = T_{i+1} = (i-1)\mu$ for $i = 1, 3, 5, \dots$
IBFI	$T_1 = 0, T_i = T_{i-1} + \mu$ for $i = 2, \dots, n$
DOME	$T_i = (i-1)\mu - \beta_1(k_1-i)\sigma$ for $i \leq k_1$ $T_i = (i-1)\mu + \beta_2(i-k_1)\sigma$ for $k_1 < i < k_2$ $T_i = (i-1)\mu - \beta_3(i-k_2)\sigma$ for $i \geq k_2$
OFFSET	$T_i = (i-1)\mu - \beta_1(k_1-i)\sigma$ for $i \leq k_1$, $T_i = (i-1)\mu + \beta_2(i-k_1)\sigma$ for $i > k_1$
2BDM	$T_1 = T_2 = 0$ $T_i = (i-1)\mu - \beta_1(k_1-i)\sigma$ for $i \leq k_1$, $T_i = (i-1)\mu + \beta_2(i-k_1)\sigma$ for $k_1 < i < k_2$, $T_i = (i-1)\mu - \beta_3(i-k_2)\sigma$ for $i \geq k_2$

4.2 시뮬레이션 최적화 기반 생성 방법

시뮬레이션 최적화는 확률적 환경에서 최적해를 찾는 접근방법으로 (Fu et al. 2003) 시뮬레이션 최적화 모듈에서 생성된 해를 시뮬레이션 모델에 적용하고 모델의 결과값이 시뮬레이션 최적화 모듈에 피드백 되어 새롭게 해를 생성하는 과정을 반복하여 해를 찾는 방법이다. 본 연구에서는 ARENA® 패키지에서 함께 제공하는 OptQuest® 최적화 소프트웨어를 이용해 시뮬레이션 최적화 기법에 기반한 환자의 예약 방법을 생성하였다. 예약 방법 생성에는 다음과 같이 Klassen and Yoogalingam (2009) 의 방법을 이용하였다. 먼저, 세션의 길이(D) 동안 i 번째 환자의 예약 시간을 x^i 라 할 때, 다음은 환자의 평균 대기시간($E[W]$)과 의료진의 초과 근무시간(OT)의 합으로 정의되는 세션의 총 비용(TC)을 최소화 하는 예약방법을 얻기 위한 시뮬레이션 최적화 수식이다.

$$\begin{aligned}
 &\text{minimize} && TC = E[W] + OT \\
 &\text{subject to} && \\
 &0 \leq x^i \leq D && \text{for all } i && (1) \\
 &x^i \leq x^j && \text{for all } i \leq j && (2) \\
 &x^i \geq 0 && \text{for all } i
 \end{aligned}$$

(1)은 모든 환자의 예약 시간은 세션 내에 이루어져야 하며, (2)는 환자의 예약 시간은 순차적으로 이루어져야 함을 의미한다.

4.3 성과 측정 지표

본 연구에서는 대부분의 기존 연구에서 주로 이용된 세션의 총비용(TC)을 시뮬레이션 모델의 결과값으로 설정하고, 이를 이용하여, 다음과 같이 반응 표면 분석법을 통해 설계한 총 45 개 시나리오 각각에 대한 성능 특성치 Y_{eh} 를 정의하였다.

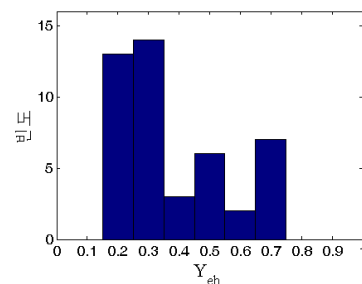
$$Y_{eh} = \frac{\text{MIN}[(TC_1, \dots, TC_n) - TC_{so}]}{\text{MIN}[(TC_1, \dots, TC_n)]}$$

TC_n 를 연구에서 선택한 6개의 예약 방법 중 n 번째 ($n = 1, \dots, 6$) 예약방법을 시뮬레이션 모델에 적용해 얻은 총비용이라 하고, TC_{so} 를 시뮬레이션 최적화를 통해 얻은 총 비용 값이라고 할 때, Y_{eh} 는 기존의 예약 방법의 성능과 비교해 시뮬레이션 최적화를 통해 개선되는 총 비용의 상대적인 비율을 의미한다.

5. 분석 및 토의

5.1 Y_{eh} 결과 분석

먼저, 다음의 [그림 2] 는 Y_{eh} 값에 대한 히스토그램이다. 다음의 그림 에서 보는 바와 같이 본 연구에서 실험한 병원의 다양한 외래 환경하에서 시뮬레이션 최적화는 기존의 예약 방법에 비해 우수한 성능을 나타내고 있다.



[그림 2] Y_{eh} 에 대한 히스토그램 결과

본 연구에서 실험한 총 45 개의 시나리오에 대해 Y_{eh} 값을 분석한 결과 시뮬레이션 최적화를 이용하여 병원 외래 환자 예약 방법을 설계할 경우 총 비용(TC) 기준으로

기존의 예약 방법에 비해 최소 15.3%, 최대 74.6%, 평균 38.3%의 비용 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

5.2 반응표면분석 결과 분석

다음의 [표 3]는 반응표면분석 결과에 대한 최종 ANOVA 결과를 나타내고 있다. Full-quadratic 분석에서 유의하지 않은(p-value > 0.1) 교호작용 항과 제곱 항을 모델에서 제거하고 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 우선, No-show 항을 제외한 나머지 주효과는 모두 유의하며, 제곱 항은 환자수(N*N) 항이, 교호작용은 Punc*Walk-ins, N*Walk-ins, N*SV 항이 유의한 것으로 분석되었다. 이들 항을 이용하여 각 요인들과 다음의 교호작용 Punc*Walk-ins, N*Walk-ins, N*SV 항이 유의한 것으로 분석되었다. 이들 항을 이용하여 각 요인과 특성치 Y_{eh} 의 경향성을 파악하기 위해 다음의 (1)과 같이 회귀식 f 을 구하고 이를 각 요인 별로, 다음의 [그림 3]에 나타내었다. 각 그래프에 정의된 요인 외 다른 요인의 수준은 모두 중간 수준(Med)으로 고정하였다.

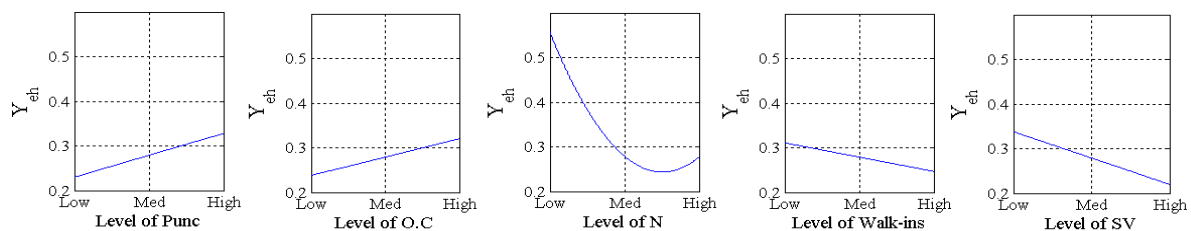
$$f = 0.279 + 0.049 \text{ Punc} + 0.041 \text{ OC} - 0.140 \text{ N} - 0.032 \text{ Walk-ins} - 0.059 \text{ SV} + 0.138 (N*N) - 0.032 (Punc*Walk-ins) - 0.025 (N*Walk-ins) + 0.042 (N*SV) \dots\dots (1)$$

우리는 회귀 식 (1)와 [그림 3]을 통해 환자 예약 방법 설계에 시뮬레이션 최적화를 이용하는 것에 대한 두 가지 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 시뮬레이션 최적화를 이용하여 환자 예약 방법을 설계할 때, 가장 우선적으로 고려해야 하는 병원 환경은 세션 당 예약 환자 수이다. [그림 3]의 세 번째 그래프는, 세션 당 예약 환자 수(N)의 수준에 따른 Y_{eh} 의 경향성을 보여주고 있다. 이 그래프로 볼 때, 시뮬레이션 최적화 기반 예약 방법이 우월한 성능을 보이는 경우는 병원의 외래 예약 환자 수가 가능한 적은 경우로, 본 연구에서는 40 명을 세션이 이상적으로 운영될 때의 한계 예약 환자 수라 할 때, 이보다 25% 적은 수의 환자를 예약하는 경우가 가장 성능이 우수함을 알 수 있다.

[표 3] 반응표면분석에 대한 최종 ANOVA 결과

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.279	0.024	11.777	0.000
Punc	0.049	0.013	3.638	0.001
OC	0.041	0.013	3.006	0.005
N	-0.140	0.013	-10.357	0.000
Walk-ins	-0.032	0.013	-2.386	0.023
SV	-0.059	0.013	-4.378	0.000
N*N	0.138	0.027	5.058	0.000
Punc*Walk-ins	-0.032	0.014	-2.268	0.030
N*Walk-ins	-0.025	0.014	-1.804	0.080
N*SV	0.042	0.014	2.992	0.005



[그림 3] 각 요인 별 수준에 따른 Y_{eh} 의 경향성

이는 기존의 예약 방법이 세션의 남은 세션을 전혀 이용하지 못하고 정의된 방식을 이용해야 하는 반면, 시뮬레이션 최적화는 세션의 빈 시간을 자유롭게 이용하면서 최소 비용의 예약 방법을 찾기 때문인 것으로 보인다. 한편, 예약 환자 수가 증가할 수록, 시뮬레이션 최적화를 통한 환자 예약 방법 생성으로 인한 총 비용(TC) 절감 효과는 급격하게 줄어들며 한계 예약 환자 수를 초과하면서 완만하게 볼록 함수의 형태의 경향성을 나타냄을 알 수 있는데, 이는 세션의 한계 예약 환자 수를 초과하여 예약 할 경우 기존의 예약 방법의 성능이 급격하게 나빠지기 때문인 것으로 보인다. 이러한 결과는, 세션의 한계 예약 환자 수를 초과하여 환자를 예약 해야 하는 병원의 경우 현실적으로 뚜렷한 대안이 없는 상황에서 시뮬레이션 최적화를 통한 예약 방법 생성이 의미 있는 대안 중 하나가 될 수 있음을 의미한다.

둘째, N 을 제외한 나머지 요인의 경우 Y_{eh} 에 미치는 영향력의 크기는 비슷하나, 각 요인의 특성에 따라 서로 다른 방향으로 특성치 Y_{eh} 에 영향을 준다. 위 [그림 3]을 보면, Punc 와 OC 의 경우 이들 값이 증가할수록 시뮬레이션 최적화를 통해 예약 방법을 생성하는 것이 바람직하며, Walk-ins 과 SV 는 이들 값이 낮을수록 시뮬레이션 최적화를 통해 예약 방법을 생성하는 것이 좋음을 알 수 있다. 이는 Punc 와 O.C 의 경우 이들 값의 수준이 커질수록 기존의 예약 방법을 이용하는 것보다 시뮬레이션 최적화를 이용하는 것이 총 비용 값의 증가율을 효과적으로 줄여주는 반면 Walk-ins 와 SV 는 그렇지 못하기 때문인 것으로 보인다.

5.3 추가 실험

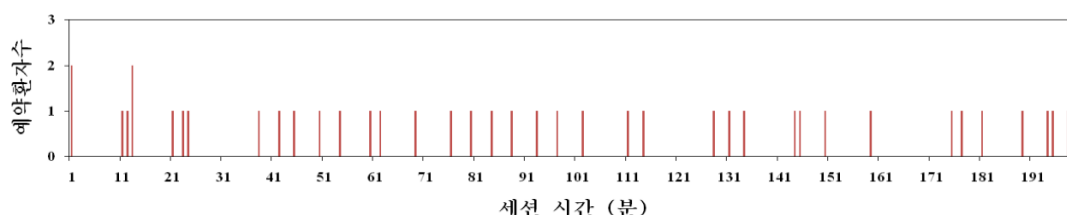
대부분의 병원에서는, 보통 5 분 혹은 10 분 단위로 환자 예약을 실시하고 있다. 이렇게 예약 시간을 고정해두는 방법은, 환자가 예약 시간을 인지하는 것이 좀 더 쉬워지도록 돕고, 병원이 예약 시간을 관리하는데 용이하다는 장점이 있다.

다음 [그림 4]는 45 개 시나리오 중 임의의 선정한 하나의 시나리오에 대해 시뮬레이션 최적화를 이용하여 설계한 예약방법을 나타낸 그림이다. x 축은 세션의 운영 시간을 y 축은 예약 환자 수를 나타낸다.

우리는 5.1 절을 통해, 시뮬레이션 최적화가 기존의 예약 방법보다 우수한 성능의 예약 방법을 생성한다는 점을 확인하였다. 그러나 예약 방법 생성에 Klassen and Yoogalingam (2009) 의 수식을 이용할 경우, 모든 예약 방법을 탐색할 수 있다는 장점이 있는 반면, 아래 [그림 4]와 같이 환자를 5 분 혹은 10 분 등 일정한 간격으로 예약하지 않을 가능성이 높아진다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 환자 예약 방법의 간격을 일정하게 하여 예약 방법의 운용과 관리가 용이하도록 제약을 두고 시뮬레이션 최적화를 통해 도출한 예약 방법과 그렇지 않은 경우에 대한 예약 방법의 성능을 비교하는 실험을 실시하였다.

실험은 모든 시나리오에 대해, 환자의 예약 간격을 5 분으로 고정한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 시뮬레이션 최적화를 이용해 예약 방법을 생성 한 후 총 비용 값에 대해 t-검정을 실시하여 통계적으로 값의 차이가 있는지를 확인하는 방식으로 진행하였다



[그림 4] 시뮬레이션 최적화 기반 예약 방법의 패턴

실험 결과, 예약 간격을 고정하지 않은 경우가 예약 간격으로 5 분으로 고정된 경우에 비해 총 비용 대비 평균 9.2% 낮은 값을 보여 우월한 성능을 보이는 것으로 분석되었으나, t-검정 결과 모든 시나리오에 대해 통계적으로 유의미한 차이는 보이지 않아 예약 간격을 5 분으로 고정하여 예약 방법을 생성하는 것이 효율적 관리와 운용 측면에서 볼 때, 효과적인 대안이 될 수 있음을 확인할 수 있었다

6. 결론

예약을 기반으로 운영되는 병원에서 환자 예약 방법의 설계는 환자 흐름의 효과적 관리에 중요한 역할을 한다. 최근 예약 방법 설계에 시뮬레이션 최적화가 이용되고 있으나, 병원의 특성에 의해 그 효과가 좌우 될 수 있다는 점에서 우리는 다양한 병원 환경을 모델링하고, 기존의 예약 방법과 시뮬레이션 최적화 기반 예약 방법과의 성능 비교를 통해, 시뮬레이션 최적화가 효과적으로 쓰일 수 있는 병원 환경을 구체화 하였다.

그 결과, 시뮬레이션 최적화를 이용한 예약 방법의 생성은 병원의 운영능력을 고려한 한계 예약 환자수 보자 적은 환자를 예약 할 때 가장 효과적이었으며, 다른 요인들은 그 특성에 따라 시뮬레이션 최적화의 효과에 미치는 영향이 구별되었다.

추후 연구 과제로는, 본 연구를 기반으로 병원의 특성을 규명 짓는 요인들이 어떠한 메커니즘으로 병원 외래 환경에 영향을 미치는지를 파악하고 다수의 의사가 진료하는 병원의 예약 방법 설계에 관한 연구를 수행하는 것이다.

7. 참고문헌

Bailey, N. T. J. 1952. A study of queues and appointment systems in hospital outpatient departments, with special reference to waiting-times. *Journal of the Royal Statistical Society* 14:185-199.

Blanco White and Pike. 1964. Appointment systems in out-patient' clinics and the effect of patients' unpunctuality, *Medicare*, 2, 133-145.

Brahimi and Worthington. 1991. Queuing models for outpatient appointment systems-a case study, *Journal of the Operational Research Society*, 42,733-746.

Cayirli, T., E. Veral, and H. Rosen. 2006. Designing appointment scheduling systems for ambulatory care services. *Health Care Management Science* 9:47-58

Cayirli, T., E. Veral and H.Rosen. 2008. Assessment of patient classification in appointment system design", *Production and Operations Management* 17:338-353

Ho, C., and H. Lau. 1992. Minimizing total cost in scheduling outpatient appointments. *Management Science* 38:1750-1764

ISHINO et al. 2008. Using simulation to improve outpatient appointment system with minimum change, *Spring Simulation Multiconference*, 507-512

Jansson B. 1966. Choosing a good appointment system-a study of queues of the type(D, M, 1), *Operations Research* , 14,292-312.

Klassen, K. J., and T.R.Rohleder. 2000. Using clinet-variance information to improve dynamic appointment scheduling performance. *The international journal of Management Science* 28(3): 293-305

Klassen,K,J., and Yoogalingam.R. 2009. Improving performance in outpatient appointment services with a simulation optimization approach", *Production and Operations Management Society*. pp1-12

Lee et al, 2008. "B 대학병원 안과 외래 프로세스 개선 방안 연구 보고서" , (KAIST CSD Lab 내부 보고서)

Lindley D.V. 1952. The theory of queues with a single server, *Proceedings Cambridge Philosophy Society*, 48,277-289.

Mercer A.1960. A queuing problem in which the arrival times of the customers are scheduled, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 22, 108-113.

O'Keefe. 1985. Investigating outpatient department: implementable policies and qualitative approaches, *Journal of the Operational Research Society*, 36, 70-712.

Pedgen and Rosenshine. 1990. Scheduling arrivals to queues, *Computers and Operations Research*, 17, 343-348.

Wang, P.P. 1993. Static and Dynamic Scheduling of Customer Arrivals to a Single-server System. *Naval Research Logistics*.40:345-360.

Appendix 1. 시뮬레이션 모델에 포함된 Input parameter 의 속성

Input parameter	속성	수준		
		Low	Med	High
환자도착 정시성 (Punc)	- 환자의 예약 시간과 실제 도착 시간 간격 = [(예약시간)-(실제도착시간)] - 정규분포를 따름[(Swartzman G. 1970), (Cayirli et al. 2006), (Lee et al, 2008)]	N(0,10)	N(-10,20)	N(-20,30)
예약부도율 (No-show)	- 예약 후 내원하지 않는 환자의 비율 - 일별, 월별 값의 편차가 크지 않음[(Cayirli et al. 2006), (Lee et al, 2008)]	0%	12.5%	25%
비 예약 환자 비율 (Walk-ins)	- 비 예약 환자 비율 - No-show 와 같은 비율로 입력[(Cayirli et al. 2006), (Lee et al, 2008)]	0%	12.5%	25%
세션 당 예약 환자수 (N)	- 세션 당 환자 수, (Lee et al, 2008)	30	40	50
진료과정의 복잡도 (O.C)	- 병원 운영 상의 복잡도, 전체 환자의 patient flow 가운데 [(진료, 진료-검사), (진료, 진료-검사, 진료-검사-진료)] 의 비율로 결정함 - 검사서비스 시간: TRI(8,10,12) (Lee et al, 2008)	(0/0)	(10/5)	(20/10)
진료 시간의 변동 계수 (SV)	- 진료 시간의 편차 - 대수정규분포를 따름 [(O'Keefe 1985), (Klassen and Rohleder 1996), (Cayirli et al. 2006, 2008)]	ln(5,1.5)	ln(5,2.75)	ln(5,4)
세션 (min)	- 세션 길이(분), =[예약환자수*평균서비스시간]	200	200	200

Appendix 2. 예약 간격 조절 변수

구분	예약 방법		기존의 변수 값 ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, k_1, k_2$)	수정된 변수 값 ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, k_1, k_2$)
ln(5,1.5)	OFFSET	N=30	(0.15,0.3,-15,-)	(0.15,0.3,-,15,-)
		N=40	(0.15,0.3,-,20,-)	(0.15,0.18,-,20,-)
	DOME	N=30	(0.15,0.3,0.05,15,27)	(0.15,0.3,0.05,15,27)
		N=40	(0.15,0.3,0.05,20,36)	(0.15,0.19,0.05,20,36)
ln(5,2.75)	OFFSET	N=30	(0.15,0.3,-,15,-)	(0.12,0.3,-,15,-)
		N=40	(0.15,0.3,-,20,-)	(0.09,0.1,-,20,-)
	DOME	N=30	(0.15,0.3,0.05,15,27)	(0.12,0.13,0.05,15,27)
		N=40	(0.15,0.3,0.05,20,36)	(0.09,0.1,0.05,20,36)
ln(5,4)	OFFSET	N=30	(0.15,0.3,-,15,-)	(0.09,0.3,-,15,-)
		N=40	(0.15,0.3,-,20,-)	(0.05,0.06,-,20,-)
	DOME	N=30	(0.15,0.3,0.05,15,27)	(0.09,0.1,0.05,15,27)
		N=40	(0.15,0.3,0.05,20,36)	(0.05,0.05,0.05,20,36)

※. 2BDM 의 경우 DOME 과 같은 변수 값을 이용하였음