한국시뮬레이션학회 논문지
Vol. 20, No. 3, pp. 29-39 (2011. 9)

두 단계 서비스 시스템에서 교차예약정책의 평가

민대기[1†]

Evaluation of the Staggering Appointment Policy in a Two-Stage Service System

Daiki Min

ABSTRACT

The appointment system is widely used to facilitate customer access to service in many industries including healthcare and others. Because of its importance, much research has investigated how to build an effective appointment policy under various environments. However, most research has considered a single-server service system. The objective of this work is to evaluate several appointment policies in a two-stage service system in which multiple servers are available and build separate appointments at the second-stage. In such a system, we propose and evaluate the staggering appointment policy. Simulation experiments indicate that the proposed staggering appointment policy outperforms other traditional appointment policies in terms of customer waiting time, server idle time, and the number of customers who are later to scheduled appointments.

Key words : Appointment policy, Two-stage service system, Staggering appointments, Simulation

요 약

예약시스템은 고객들이 서비스에 효과적으로 접근하는 것을 용이하게 하는 방법으로 의료 등의 서비스 산업에서 많이 사용되고 있다. 예약시스템의 중요성 때문에 서비스 제공 환경 별로 효과적인 예약정책 수립에 대한 연구가 많이 진행되고 있지만 대부분의 연구는 단일 서버, 단일 단계로 구성된 서비스 시스템만을 고려하고 있다. 본 논문은 다수의 서버로 구성된 두 단계 서비스 시스템에서 다양한 예약정책을 평가하여 효과적인 예약정책을 수립하는 것을 목적으로 한다. 2단계의 서버가 개별적으로 고객 예약을 수립하는 환경을 고려하여 본 연구에서는 교차예약정책을 제시하였다. 시뮬레이션 연구를 통하여 기존의 전통적인 예약정책과 비교하여 고객대기시간, 서버의 유휴시간, 예약보다 지연 도착하는 고객의 수 등에서 교차예약정책이 우수한 결과를 제공하는 것을 제시하였다.

주요어 : 예약정책, 두 단계 서비스 시스템, 교차예약, 시뮬레이션

1. 서 론

서비스 전달 속도(service delivery speed)는 서비스 시스템의 중요한 경쟁요소로 긴 고객 대기시간은 고객의 만족도를 감소시키고, 서비스 품질 저하를 초래한다. 일반적으로 많은 서비스 시스템에서 고객 대기시간의 효과적인 관리를 위하여 예약정책(appointment policy)을 활용하고 있다. Bailey(1952)는 고객 대기시간과 자원 효율성의 두 가지 관점에서 예약정책의 특성을 설명하였다. 평균 서비스 시간보다 긴 간격으로 예약을 결정하면 고객 대기시간이 감소하는 반면 자원의 유휴시간은 증가하게 되며, 반대로 많은 고객을 예약하는 경우 고객 대기시간이 증가하고 자원 효율성이 향상된다. 결국 효과적인 예약정책은 고객 대기시간과 자원 효율성 사이의 상관관계(trade-off)를 고려하여 결정된다(Cayirli and Veral, 2003). 따라서 효과적인 예약정책의 수립은 예약기반 서비스 시스템의 성능을 결정짓는 중요 사항이다.

기존 연구에서 제시한 예약정책들이 세부 사항에 있어

접수일(2011년 4월 19일), 심사일(1차 : 2011년 8월 15일, 2차 : 2011년 9월 6일), 게재 확정일(2011년 9월 6일)
[1)] 이화여자대학교 경영학과
주 저 자 : 민대기
교신저자 : 민대기
E-mail; dmin@ewha.ac.kr

차이는 있지만 고객 대기시간과 자원 효율성은 다음의 세 가지 요소에 영향을 받는다(Cayirli and Veral, 2003). 첫 째 예약주기(appointment interval)는 두 예약시간 사이의 차이를 나타내는데, 일반적으로 평균 서비스 시간을 고려하여 결정한다. 둘째, 블록크기(block size)는 개별 예약주기에 할당된 고객의 수를 의미하며, 마지막으로 초기블록크기(initial block size)는 최초 블록에 할당된 고객의 수를 나타낸다. Bailey(1952)는 최초블록에 두 명의 고객을 할당하고 이후에는 한 명의 고객을 개별 예약주기에 할당하는 정책을 제시하였다. 최초블록에 두 명 이상의 고객을 동시에 예약하는 경우 대기 고객의 수를 증가시키므로 자원의 유휴시간을 감소시킬 수 있다. 유사한 목적으로 Blanco White and Pike(1964)와 Cox 등(1985)은 한 예약주기에 두 명 이상의 고객을 동시에 예약하는 블록예약정책을 고려하였는데, 블록예약정책은 서비스 시간이 짧은 환경에서 다른 예약정책에 비하여 효과적임을 제시하였다. 고객도착 프로세스의 특성, 서비스 시간 분포, 예약 취소율, 노쇼(no-show) 비율(Vissers, 1979), 예약 없이 방문하는 고객 수요(Pierskalla and Brailer, 1994) 등의 제반 환경에 따라서 앞서 제시한 세 가지 요소의 조합으로 적합한 예약정책을 결정한다. 예약정책 설계와 관련한 일반적인 방안은 다음의 연구를 참고하도록 한다: O'Keefe(1985), Bennett and Worthington(1998), Gupta and Denton(2008).

예약정책의 유형 및 기타 고려하는 환경요소와 관계없이 기존 연구는 단일 단계(single-stage), 단일 서버(single-server)로 구성된 서비스 시스템을 고려하였다. 본 연구는 기존 연구와 다르게 두 단계로 구성된 서비스 시스템을 고려하였는데, 두 번째 단계는 다수의 서버로 구성되며 각 서버는 다른 서버와의 조정 없이 독립적으로 각 서버를 방문하고자 하는 고객의 예약을 수립한다. 고객은 두 번째 단계의 서버에서 결정한 예약시간에 따라 시스템에 도착하며 단일 서버로 구성된 첫 번째 단계를 거친 후에 예약된 두 번째 서버를 방문한다. 즉, 기존 연구에서는 단일 예약을 고려한 반면 본 연구에서는 독립적으로 생성된 다수의 예약에 의한 고객도착 프로세스를 고려하였다.

2. 연구의 배경

본 논문에서 고려하는 문제는 미국 인디애나주 W 병원에서 수행한 외래환자의 접수 프로세스 단일화(centralized check-in process) 사례에 기반을 두어 구성하였다. 접수

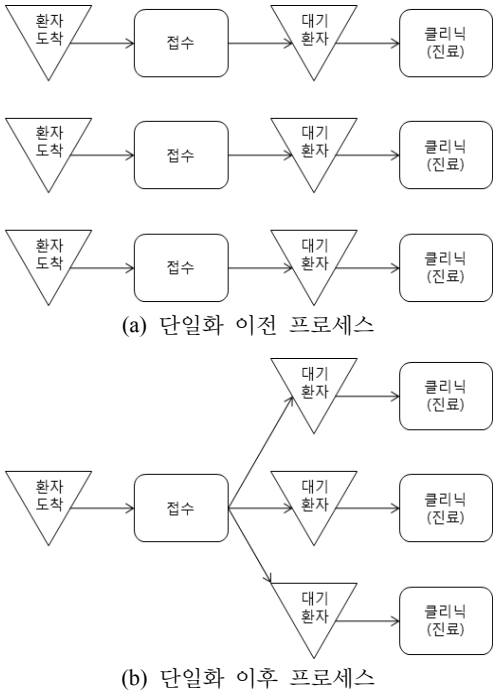


그림 1. 접수업무 프로세스의 단일화

프로세스를 단일화하기 이전에는 개별 클리닉(clinic)이 자체적으로 외래환자의 접수업무를 수행하여, 환자는 개별 클리닉에 있는 접수창구를 방문한 후에 예약이 된 의사의 진료를 받았다. W 병원은 외래환자의 혼란을 줄이고 접수 인력의 감소를 위하여 접수 프로세스를 단일화하였는데, 모든 외래환자는 예약된 클리닉과 관계없이 중앙의 접수창구를 방문한 후에 진료예약이 된 클리닉으로 이동하도록 프로세스를 변경하였다(그림 1).

그림 1에서 외래 클리닉은 병원과 개별적으로 계약 관계에 있는 독립 사업자로서 운영과 관련한 많은 의사결정은 병원과 독립적으로 클리닉에서 개별적으로 수립하고 있다. 클리닉의 독립적인 업무 특성에 따라 외래환자 예약 또한 개별적으로 이루어지고 있으며, 접수와 같은 기타 병원 업무와의 업무 협조도 효과적으로 이루어지지 않고 있다.

W 병원에서 4개의 클리닉을 대상으로 접수업무를 단일화한 결과를 표 1에 요약하여 제시하였다. 접수 단일화를 통하여 접수인원 감소 및 업무효율성이 향상되었지만 접수를 위한 고객 대기시간이 증가한 것을 확인 할 수 있다. 클리닉은 진료예약을 다른 클리닉과의 조정 없이 독립적으로 생성하는데, 대부분의 클리닉이 유사한 예약정

표 1. 접수단일화 효과

		단일화 이전	단일화 이후
평균 대기시간	접수	13분	19분
	진료	4분	3분
접수인력	인원수	4명	2명
	효율	26%	50%
진료인력	효율	43%	59%

책, 즉 동일한 시작시간과 예약주기를 활용하고 있다. 이와 같은 예약정책은 다수의 환자가 비슷한 시간대에 단일 접수창구에 도착하는 집단도착(batch arrival) 현상을 초래하여 외래환자의 접수대기시간이 증가하고 경우에 따라 진료예약시간 보다 일찍 병원에 도착했음에도 불구하고 예약시간보다 늦게 클리닉에 도착하는 문제가 발생하였다. 접수 인력을 늘리는 것은 공간 제약과 인력감축이라는 단일화의 목적에 부합하지 않아 고려할 수 없다. 따라서 성공적인 접수 단일화 프로세스를 설계하기 위해서는 접수 대기시간을 감소시키기 위한 방안이 요구되었다.

본 논문에서는 W 병원의 사례를 두 단계로 구성된 예약기반 서비스 시스템으로 구성하고 독립적인 예약정책과 일정부분 조정된 예약정책(즉, 교차예약정책)의 성능차이를 비교하고자 한다. 이를 위하여 본 논문을 다음과 같이 구성하였다. 3장에서는 문제를 정의하고 수리모형을 이용하여 교차예약정책과 비교차예약정책의 효과를 비교하였다. 4장에서는 다양한 예약정책의 효과를 분석하기 위하여 시뮬레이션 모델을 제시하고 수치실험 결과를 분석하여 교차예약정책과 기타 주요 예약정책의 효과를 비교·분석하였다. 마지막 장에서는 결론과 추후 연구방향을 제시하였다.

3. 문제의 정의

본 논문은 다수의 서버로 구성된 두 단계 서비스 시스템을 고려한다. 2단계 프로세스는 독립적인 다수의 서버로 구성되는데, 각 서버는 개별적으로 고객예약을 스케줄한다. 모든 도착 고객은 2단계 프로세스에서 예약된 서버와 예약시간에 관계없이 단일 서버로 구성된 1단계 프로세스를 거친 후에 예약이 된 2단계 프로세스의 서버로 이동한다. 그림 2는 2단계 프로세스가 두 개의 서버로 구성된 가장 단순한 형태의 시스템을 나타낸다.

2단계 프로세스에서 다수의 서버가 고객예약을 개별적으로 생성하기 때문에 서버1과 서버2가 경우에 따라 동일

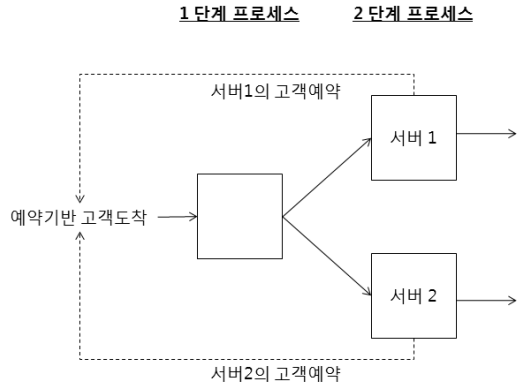


그림 2. 두 단계로 구성된 서비스 시스템

한 시점에 고객을 예약할 수가 있다. 일반적으로 예약고객의 도착은 예약시간에 따라서 발생하므로(Jablonski 등, 1991; Muller and Chatteri, 2002; Jeong, 2004; Moorthy and Teo, 2007) 동일 시점에 예약된 다수의 고객들은 비슷한 시간에 시스템에 도착하게 된다. 동일시점에 예약된 다수 고객에 의하여 발생하는 이와 같은 현상은 집단도착(batch arrival)을 고려한 대기행렬 모델(queueing model)과 유사한 결과를 가져오는데, 일반적으로 집단의 크기(batch size)가 증가할수록 도착고객수의 변동성과 대기시간이 증가하게 된다(Hopp and Spearman, 2000, p.264). 따라서 집단도착 현상을 완화시키기는 것이 필요한데 각 서버에 의하여 개별적으로 이루어지는 고객 예약시간을 조정함으로써 동일시점에 예약되는 고객의 수를 평준화하는 것을 고려할 수 있다.

Belien and Demeulemeester(2007)는 최적화모형을 이용하여 다수의 클리닉에서 개별적으로 수술예약을 생성하는 경우, 수술예약을 조정하는 과정을 통하여 침상수요를 평준화함으로써 침상부족 문제를 완화할 수 있음을 제시하였다. 하지만 중앙통제가 가능한 수술실 환경과 달리 독립적인 클리닉의 예약은 조정이 용이하지 않다. 따라서 본 논문에서는 다수의 예약을 조정하기 위한 수리모형을 고려하는 대신 구현이 용이한 교차예약정책을 제안하고 그 성과를 평가하였다.

그림 3은 2단계 프로세스가 두 개의 서버로 구성된 경우 개별 서버가 생성한 두 예약의 조정을 고려하지 않은 비교차예약정책과 본 논문에서 제안하는 교차예약정책의 차이를 나타낸다. 교차예약정책은 두 서버가 고객의 예약시간을 결정할 때 동일시점에 예약되는 상황을 회피하도록 조정함으로써 1단계 프로세스에서의 고객 도착시간을 동일간격으로 평준화한다. 이와 같은 교차예약정책은 수

요의 변동성을 감소시키기 위한 위험분산(risk pooling) 전략에 기반을 두고 있다. 위험분산 전략에서 두 수요가 음의 상관관계(negative correlation)에 있을 때 수요의 변동성 감소 효과를 기대할 수 있는데(Simchi-Levi 등, 2008, p.51), 교차예약정책은 두 고객도착 프로세스 사이의 양의 상관관계를 최소화함을 알 수 있다.

우선 비교차예약정책과 비교하여 교차예약정책을 활용하는 경우 고객도착 프로세스의 변동성 감소 효과를 수리모형을 이용하여 평가하였다. 예약시간에 종속적으로 발생하는 고객도착 프로세스는 본 연구에서 고려하는 예약기반 서비스 시스템의 중요한 특징으로써 독립적인 고객도착프로세스에 기반 한 일반적인 대기행렬이론을 예약기반 시스템에 적용하는 것은 적절하지 않다. 따라서 교차예약정책의 효과를 분석하기 위하여 예약기반 시스템에서의 고객도착 프로세스를 분석하기 위한 수리모형을 제시하도록 한다.

2단계 프로세스에서 두 개의 서버가 각각 n명의 고객을 예약하는 경우 일반예약정책, 즉 비교차예약정책과 교차예약정책의 예약시간은 다음과 같이 정의된다. 여기서 1단계 프로세스에 도착하는 고객의 변동성과 교차·비교차 예약정책의 관계를 고려함에 있어 도착 고객을 2단계 프로세스의 서버 유형에 따라 구분하는 것은 의미가 없다. 따라서 고객의 예약시간 y_i는 2단계 서버에 대한 구분 없이 1단계 프로세스에 도착하는 시간 관점에서 정의하였다. 아래 사용한 기호는 표 2를 참고하도록 한다.

그림 3. 일반예약정책과 교차예약정책의 비교

· 경우 1: 일반예약정책

$$y_i = \lambda \cdot \lceil i/2 \rceil,\ i = 1,2,...,2n,$$

$\lceil x \rceil$는 x보다 크거나 같은 최소 정수임

· 경우 2: 교차예약정책

$$y_i = \lambda/2 \cdot i,\ i = 1,2,...,2n$$

예약시간이 y_i인 고객의 도착시간 A_i는 평균이 $y_i - \gamma$이고 표준편차가 σ인 정규분포로 결정 된다(Jablonski 등, 1991; Muller and Chatteri, 2002; Jeong, 2004; Moorthy and Teo, 2007). γ는 일반적으로 1단계의 평균 서비스 시간을 고려하여 고객이 예약보다 일찍 시스템에 도착하도록 역할을 나타낸다. γ가 양의 값을 갖고 A_i를 정규분포로 가정하는 경우 대부분의 고객은 예약시간보다 일찍 도착하지만 일부 고객의 경우 예약시간에 비하여 지연 도착하는 경우가 발생한다. 도착시간 A_i에 대하여 표 2에서 제시한 확률변수 x_i는 도착확률 $p(t < A_i < t+\tau) = \Phi(\frac{t+\tau-y_i+\gamma}{\sigma}) - \Phi(\frac{t-y_i+\gamma}{\sigma})$을 갖는 베르누이 분포(bernoulli distribution)를 따른다. 여기서 $\Phi(\cdot)$는 표준정규분포의 누적확률분포함수(Cumulative Density Function; CDF)이다. 따라서 기간 $(t,t+\tau)$사이에 도착하는 총 고객수의 평균과 분산은 각각 다음과 같이 결정 된다:

$$\begin{aligned} E(x_i) &= 1 \cdot p(t < A_i < t+\tau) \\ &\quad + 0 \cdot (p(A_i > t+\tau) + p(A_i < t)) \\ &= \Phi(\frac{t+\tau-y_i+\gamma}{\sigma}) - \Phi(\frac{t-y_i+\gamma}{\sigma}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E(x) &= E(\sum_{i=1}^{2n} x_i) = \sum_{i=1}^{2n} E(x_i) \\ &= \sum_{i=1}^{2n} \left\{ \Phi(\frac{t+\tau-y_i+\gamma}{\sigma}) - \Phi(\frac{t-y_i+\gamma}{\sigma}) \right\} \end{aligned}$$

표 2. 기호 요약

· $x_i = \begin{cases} 1 & i\text{번째 예약고객이 } (t,t+\tau) \text{ 기간에 도착함} \\ 0 & i\text{번째 예약고객이 } (t,t+\tau) \text{ 기간에 도착하지 않음} \end{cases}$
· x: $(t,t+\tau)$ 기간에 도착한 고객의 수, $x = x_1 + x_2 + ... + x_{2n} = \sum_{i=1}^{2n} x_i$
· y_i: i번째 예약고객의 예약시간
· A_i: i번째 예약고객의 도착시간, $A_i \sim N(y_i - \gamma, \sigma^2)$
· μ: 1단계에서 고객 한명 당 평균 서비스 시간
· λ: 2단계에서 고객 한명 당 평균 서비스 시간, 예약 간격과 동일

표 3. 예약정책

예약정책	기호	시작시간	예약주기	예약주기 별 예약고객 수
비교차	B-I-	오전 8:00	15분	1명
교차		오전 8:15	15분	1명
비교차, 블록	B+I-	오전 8:00	30분	2명
교차, 블록		오전 8:30	30분	2명
비교차, 초기중복	B-I+	오전 8:00	15분	2명(최초주기)+1명
교차, 초기중복		오전 8:15	15분	2명(최초주기)+1명
비교차, 블록, 초기중복	B+I+	오전 8:00	30분	4명(최초주기)+2명
교차, 블록, 초기중복		오전 8:30	30분	4명(최초주기)+2명

$$Var(x_i) = 1^2 \cdot p(t < A_i < t+\tau) - p(t < A_i < t+\tau)^2 = \left\{\Phi(\frac{t+\tau-y_i+\gamma}{\sigma}) - \Phi(\frac{t-y_i+\gamma}{\sigma})\right\} \left\{1-\Phi(\frac{t+\tau-y_i+\gamma}{\sigma}) + \Phi(\frac{t-y_i+\gamma}{\sigma})\right\}$$

$$Var(x) = Var(\sum_{i=1}^{2n} x_i) = \sum_{i=1}^{2n} Var(x_i) = \sum_{i=1}^{2n} \left\{\Phi(\frac{t+\tau-y_i+\gamma}{\sigma}) - \Phi(\frac{t-y_i+\gamma}{\sigma})\right\} \left\{1-\Phi(\frac{t+\tau-y_i+\gamma}{\sigma}) + \Phi(\frac{t-y_i+\gamma}{\sigma})\right\}$$

Proposition 1. $Var_1(x)$과 $Var_2(x)$를 각각 일반예약정책과 교차예약정책을 활용하는 경우 $(t,t+\tau)$기간 동안 도착하는 고객 수의 분산으로 정의한다. 충분히 큰 t에 대하여 $Var_1(x) \geq Var_2(x)$을 만족한다.

증명. 각 i번째 예약고객에 대하여 고려한다.

$\Delta_1 = \Phi(\frac{t+\tau-\lambda\lceil i/2\rceil+\gamma}{\sigma}) - \Phi(\frac{t-\lambda\lceil i/2\rceil+\gamma}{\sigma})$

$\Delta_2 = \Phi(\frac{t+\tau-i\lambda/2+\mu}{\sigma}) - \Phi(\frac{t-i\lambda/2+\mu}{\sigma})$라고 하면,

$Var_1(x_i) - Var_2(x_i) = (\Delta_1 - \Delta_2)(1-\Delta_1-\Delta_2)$.

i) $\Delta_1 \geq \Delta_2$

이 경우는 표준정규분포의 CDF 곡선에서 미분계수값이 감소하는 오목(concave) 형태의 구간을 의미한다. 따라서 두 점 $(t+\tau-i\lambda/2+\gamma, t-\lambda\lceil i/2\rceil+\gamma)$에 의하여 결정되는 직선의 기울기가 또 다른 두 점 $(t-i\lambda/2+\gamma, t+\tau-\lambda\lceil i/2\rceil+\gamma)$에 의한 기울기보다 크게 된다. 이 것은 $\Delta_1+\Delta_2<0$을 의미하며 결국 $Var_1(x_i) - Var_2(x_i) = (\Delta_1-\Delta_2)(1-\Delta_1-\Delta_2) \geq 0$를 만족한다.

ii) $\Delta_1 < \Delta_2$

이 경우는 표준정규분포의 CDF 곡선에서 미분계수값이 증가하는 볼록(convex) 형태의 구간을 의미한다. 함수의 볼록성(convexity)에 의하여 $\Delta_1+\Delta_2>0$이 성립함을 알 수 있는데 t가 증가할수록 $\Delta_1+\Delta_2$ 또한 증가한다. 따라서 $\Delta_1+\Delta_2>1$을 만족할 만큼 충분히 큰 t에 대하여 $Var_1(x_i) - Var_2(x_i) = (\Delta_1-\Delta_2)(1-\Delta_1-\Delta_2) \geq 0$을 만족한다.

i)과 ii)에 의하여

$[Var_1(x) - Var_2(x)] = \sum_{i=1}^{2n} \mathrm{Var}_1(\mathrm{x_i}) - \mathrm{Var}_2(\mathrm{x_i}) \geq 0$이] 성립한다.

Proposition 1에서 t가 매우 작은 경우는 고객이 예약시간에 비하여 매우 일찍 도착하는 경우를 의미한다. 예약시간에 비하여 매우 일찍 도착하는 경우는 실제로 발생할 확률이 매우 적으므로 충분히 큰 t에 대한 고려는 타당한 가정이라고 할 수 있다. $\Delta_1+\Delta_2>1$을 만족할 만큼 t가 큰 경우는 고객이 도착시간분포의 평균에 가까운 시간에 도착하는 경우를 의미한다. Proposition 1은 예약시간을 기준으로 타당한 범위내의 시간에서 교차예약정책이 비교차예약정책을 이용하는 경우에 비하여 고객 도착의 변동성을 감소시킴을 보여준다.

예약기반 시스템에서 고객 도착 프로세스의 변동 감소가 직접적으로 전반적인 성능개선을 증명하지는 않지만 일반적으로 변동성을 감소시킴으로써 1단계 서비스에서 고객대기시간과 자원의 유휴시간감소를 기대할 수 있다(Ross, 2003, p.528). 하지만 1단계 서비스에 도착하는 변동성의 감소가 실제 예약이 이루어진 2단계의 서비스의 성능개선에 도움이 되는지는 명확하지 않다. 다음 장에서

는 교차예약이 두 단계의 전 서비스 과정에서 성능개선 효과가 있는지를 시뮬레이션 연구를 통하여 검토하도록 한다.

4. 시뮬레이션 연구

4.1 시뮬레이션 모델

3장에서 제시한 수리모형을 활용하여 두 단계 서비스 시스템 환경에서 다양한 예약정책을 분석하는 것은 매우 복잡하고 어려운 문제이다. 그림 2에서 제시한 환경에 대하여 교차예약정책을 활용한 변동감소가 전체 시스템에 어떠한 영향을 주는지 분석하기 위하여 시뮬레이션 접근방법을 이용하여 분석을 수행하였다. 또한 교차예약정책의 평가에 더하여 단일서버, 단일단계 환경에서 일반적으로 활용되는 예약정책의 효과를 함께 비교 분석하였다.

단일서버, 단일단계 모형에서의 대표적인 두 가지 예약정책인 블록예약(block appointment)과 초기중복예약을 고려하였다. 그림 3에서 제시한 바와 같이 일반예약정책은 평균서비스시간을 고려하여 예약주기(appointment interval)을 설정하고 각 예약주기에 한명의 고객을 예약한다. 블록예약(본 논문에서는 B로 표시)에서는 평균서비스시간의 두 배인 예약주기에 두 명의 고객을 같은 시간에 예약한다. 초기중복예약(본 논문에서는 I로 표시)에서는 일반예약 또는 블록예약에 따라 동일한 수의 고객을 각 예약주기에 할당하되 최초 예약주기에는 두 배의 고객을 할당한다. 본 논문에서는 일반예약정책을 기본으로 하여 교차예약, 블록예약, 초기중복예약의 조합으로 구성된 총 8가지의 예약정책을 시뮬레이션 실험을 이용하여 비교·평가하였다(표 3). 표 3에서 B+I+는 블록예약과 초기중복예약을 모두 고려하는 경우를 나타내며, B-I-는 두 가지를 모두 고려하지 않은 예약정책을 나타낸다.

2단계의 서비스 시간은 상·하한이 각각 20분, 10분으로 평균이 15분인 균등분포(uniform distribution)로 가정하였다. 따라서 일반예약정책의 경우 각 서버는 32명의 고객을 15분단위로 예약하게 된다. 1단계의 서비스 시간은 삼각분포(triangular distribution)로 정의하였는데 용량제약에 따라 세 개의 분포를 고려하였다. 예약시간이 y_i인 고객의 도착시간은 $y_i - Triangular(-15,10,35)$로 결정되는데, 예약시간 보다 최대 35분, 평균 10분 일찍 도착하고 최대 15분까지 지연 도착함을 의미한다(표 4).

4.2 수치실험 결과

8가지의 예약정책과 3가지 수준의 1단계 용량제약 등 총 24가지 시나리오에 대하여 시뮬레이션 실험을 수행하였으며, 각 시나리오에 대하여 100일 동안 30번을 반복하여 자료를 수집하였다. 시뮬레이션 실험은 이산사건 시뮬레이션(discrete event simulation) 소프트웨어인 AutoMod 12.3.1을 이용하여 수행하였다.

표 5는 블록예약 없이 초기중복예약 만을 고려한 경우(즉, B-I+ 유형)의 시뮬레이션 실험결과로 교차예약정책과 비교차예약정책의 효과를 비교하여 보여준다. 참고로 다른 유형의 예약정책에 대한 실험결과는 부록의 그림 4-그림 7에 제시하였다.

교차예약정책의 효과는 고객의 평균 대기시간과 업무 효율성 측면에서 평가하였다. 표 5에 제시한 바와 같이 교차예약정책을 활용함으로써 1단계에서의 고객대기시간이 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 Proposition 1에서 증명한 바와 같이 교차예약정책을 활용하여 집단도착 현상에 따른 고객도착 프로세스의 변동을 감소시킨 결과이다.

교차예약정책에 의하여 1단계에서 고객대시간이 감소하는 것과 달리 2단계에서는 고객대기시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 1단계에서 고객대기시간이 감소함에 따라 동일 기간 동안 더 많은 수의 고객이 1단계 서비스를 완료하고 2단계로 이동한 결과에 기인한다. 하지만 2단계에서의 대기시간이 증가했음에도 불구하고 1단계와 2단계에 걸쳐 고객이 전체 시스템에서 경험하는 대기시간은 교차예약정책을 적용하는 경우 감소함을 알 수 있다.

표 4. 확률분포 요약

항목	설명	
서비스시간분포	1단계 서비스	강한 용량제약: $Triangular(7,9,13)$ 분
		중간 용량제약: $Triangular(5,7,11)$ 분
		약한 용량제약: $Triangular(3,5,9)$ 분
	2단계 서비스	$Uniform(10,20)$ 분
고객도착시간분포	$y_i - Triangular(-15,10,35)$분	

표 5. 교차예약과 비교차예약의 성능 비교

(a) 1단계 서버의 약한 용량제약

		비교차 예약	교차 예약
평균 고객대기 시간(분/명)	1단계	3.56	1.95
	2단계	15.95	16.30
	합계	19.51	18.26
1일 평균 2단계 운영성과	예약대비 지연도착 고객수(명)	2.93	2.58
	지연도착 시간(분)	3.93	3.19
	초과업무 시간(분)	16.62	15.04

(b) 1단계 서버의 강한 용량제약

		비교차 예약	교차 예약
평균 고객대기 시간(분/명)	1단계	77.25	25.99
	2단계	3.36	14.82
	합계	80.61	40.81
1일 평균 2단계 운영성과	예약대비 지연도착 고객수(명)	6.19	4.95
	지연도착 시간(분)	77.19	27.23
	초과업무 시간(분)	138.10	56.75

2장에서 제시한 W 병원의 사례와 같이 본 논문에서 고려하는 두 단계 서비스 시스템에서 고객은 두 번째 단계에서 설정한 예약시간에 늦지 않도록 도착하는 것이 중요하다. 고객의 지연도착은 서버의 유휴시간(idle time)을 증가시켜 효율성을 떨어뜨리고 초과업무를 초래하는 원인이 된다. 고객의 지연도착은 도착시간에 더하여 1단계에서의 서비스 지연, 즉 고객 대기시간에 의하여 결정되는데 교차예약정책을 이용하는 경우 1단계에서의 고객 대기시간이 감소함에 따라 지연도착 또한 감소함을 알 수 있다. 표 5에 제시한 지연도착한 고객의 수와 지연도착한 시간(tardiness)이 교차예약정책을 활용하는 경우 감소하는 것을 확인할 수 있다. 지연도착이 감소하고 고객이 예약에 따라 도착함에 따라 서버의 유휴시간이 감소하고 효율성이 향상되었다(부록).

병원과 같은 서비스 시스템에서 초과업무는 많은 비용을 초래하는 요소로써 예약정책과 관련한 많은 연구들이 초과업무 감소를 중요한 성과지표로 고려하였다(Gupta and Denton, 2008). 초과업무 감소의 관점에서 교차예약정책이 비교차예약정책과 비교하여 매우 효과적임을 알 수 있는데, 표 5(b)의 경우 초과업무가 50%이상 감소하였다. 결국 일반적인 비교차예약정책과 비교하여 교차예약정책을 활용함으로써 고객의 대기시간을 감소시키는 동시에 서버의 효율성을 향상시킬 수 있다.

시뮬레이션 실험결과는 1단계 자원의 용량제약이 전체 서비스 시스템의 운영에 있어 매우 중요한 요소임을 보여준다. 결과를 보면 용량제약이 증가할수록 고객의 대기시간, 지연도착, 초과업무시간 등이 모두 증가하였다. 이와 같은 현상은 1단계에서의 용량제약이 심화될수록 2단계에 도착하는 고객의 변동성이 증가하기 때문에 발생하는데, 고객이 예약주기와 동일하게 도착하더라도 1단계에서 발생하는 고객대기시간에 의하여 2단계에서의 고객 도착 프로세스에 변동성이 발생한다. 1단계의 용량제약은 교차예약정책의 효과에도 영향이 있는데 용량제약이 작은 경우 비교차예약과 비교하여 교차예약의 효과가 매우 제한적임을 알 수 있다. 용량제약이 작은 경우, 즉 1단계에서의 서비스 시간이 매우 짧은 경우 많은 수의 고객이 비슷한 시기에 동시에 도착하더라도 바로 처리할 수 있기 때문에 비교차예약정책과 교차예약정책에 의한 효과의 차이가 크지 않다. 따라서 교차예약정책은 1단계에서의 자원용량제약이 커서 고객의 혼잡도(congestion)가 높은 환경에서 더 효과적임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 두 단계로 이루어진 서비스 시스템에서 교차예약정책의 효과를 평가하였다. 교차예약정책은 시스템에 도착하는 고객 수의 변동을 감소시키는데, 이와 같은 변동의 감소에 의하여 고객대기시간을 감소시키고 서버의 효율성을 향상시킬 수 있었다. 교차예약정책의 효과는 1단계 서비스의 용량제약 수준과 다른 예약정책에 관계없이 모든 경우에 있어 비교차예약정책에 비하여 우수한 결과를 제시하였다.

본 연구의 결과 교차예약정책을 이용하여 클리닉의 예약업무를 조정함으로써 환자의 대기시간과 클리닉의 진

료업무 효율성(지연도착 환자 감소, 초과업무 시간 감소)을 향상 시킬 수 있음을 확인하였다. 조정된 예약을 통하여 환자 대기시간 감소와 같은 병원서비스 개선에 더하여 개별 클리닉의 업무 효율성이 개선됨을 제시함으로써 독립적인 운영 정책을 유지해온 클리닉에게 교차예약정책의 효과를 인식시키고 참여를 유도할 수 있을 것이다. 또한 실험결과 교차예약정책은 개별 클리닉이 활용해온 예약정책의 유형과 관계없이 효과적임을 알 수 있는데, 이는 기존 업무의 변화를 최소화하는 측면에서 중요한 장점이라 할 수 있다.

본 연구는 몇 가지 방향에서 확장을 고려할 수 있다. 첫째 2단계에서 두 개의 서버로 구성된 환경만을 고려하였는데 서버의 수가 증가하는 환경을 고려할 수 있다. 서버의 수가 증가할수록 동일시간에 고객을 예약하는 가능성이 증가하며 고객도착 프로세스에 변동성을 증가시킬 것으로 예상할 수 있다.

둘째, 2단계 서비스에서 고객의 지연도착과 초과업무 등을 방지하기 위해서는 적정한 수준의 서비스 용량을 1단계에서 확보하는 것이 요구된다. 적정 서비스 용량에 대한 연구는 본 논문의 범위를 벗어나므로 제외하였다. 서비스 용량의 증가 이외에 γ를 통제하여 업무 효율성을 향상시킬 수 있다. 1단계의 용량제약이 큰 경우에는 고객이 실제 예약시간보다 일찍 도착했음에도 불구하고 1단계에서의 대기시간이 증가하여 2단계에 실제 예약시간보다 늦게 도착하는 경우가 발생한다. 따라서 고객이 1단계의 평균서비스시간을 고려하여 충분히 일찍 도착하도록 유도하는 것이 요구된다. 즉, 고객도착시간 A_i가 정규분포 $N(y_i-\gamma,\sigma^2)$로 결정되는 경우, γ가 충분히 큰 값을 갖도록 고객에게 도착시간을 사전에 안내하는 것을 고려할 수 있다.

셋째, 2단계의 다양한 형태의 서비스 시간 분포를 고려할 수 있다. 본 연구에서는 2단계에서의 서비스 시간과 관련하여 단일 분포만을 고려하였는데, 2단계 서비스시간의 증가 또는 감소에 의한 효과를 평가하는 것이 요구된다. 예를 들어, 일반적으로 서비스 시간이 짧은 경우 블록예약정책이 효과적인 것으로 알려져 있는데, 1단계 서비스 용량제약을 고려하는 경우 기존 연구결과에 변화를 기대할 수 있다. 마지막으로 예약기반 서비스 시스템에서 일반적으로 고려하는 불확실성 요소를 본 연구에서는 고려하지 않았다. 예를 들어 고객이 예약을 취소(cancellation)하거나 예약을 하고 방문하지 않는 경우(no show) 등은 시스템의 변동성에 매우 중요한 요소가 된다. 이와 같은 문제에 대응하여 초과예약(overbooking)을 활용하는데 향후 연구에서 고려해야 할 중요한 요소이다.

참 고 문 헌

1. N. Bailey, “A study of queues and appointment systems in hospital outpatient departments with special reference to waiting times,” Journal of the Royal Statistical Society, vol. 14, pp. 185-199, 1952.
2. J. Beliën and E. Demeulemeester, “Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy,” European Journal of Operational Research, vol. 176, no. 2, pp. 1185-1204, 2005.
3. J.C. Bennett and D.J. Worthington, “An example of a good but partially successful OR engagement: improving outpatient clinic operations,” Interfaces, vol. 28, no. 5, pp. 56-69, 1998.
4. M.J. Blanco White and M.C. Pike, “Appointment systems in outpatients’ clinics and the effect on patients’ unpunctuality,” Medical Care, vo. 2, pp. 133-145, 1964.
5. T. Cayirli and E. Veral, “Outpatient scheduling in health care: A review of literature,” Production and Operations Management, vol. 12, no. 4, pp. 519-549, 2003.
6. T.F. Cox, J.F. Birchall and H. Wong, “Optimizing the queuing system for an ear, nose and throat outpatient clinic,” Journal of Applied Statistics, vol. 12, pp. 113-126, 1985.
7. D. Gupta and B. Denton, “Appointment scheduling in health care: challenges and opportunities”, IIE Transactions, vol. 40, no. 9, pp. 800-819, 2008.
8. W.J. Hopp and M.K. Spearman, Factory Physics, New York: McGraw-Hill, 2000.
9. R. Jablonski, J.D. Clemmons, and D. Wilson, “Applying business process improvement to the registration process,” Proceedings of the 4th Annual Quest for Quality and Productivity in Health Systems, Washington, DC, 1991.
10. R.H. Jeong, “The prediction of bus arrival time using automatic vehicle location system data”, PhD Dissertation, Texas A&M University, College Station, Texas, 2004.
11. E.R. Muller and G.B. Chatterji, “Analysis of aircraft arrival and departure delay characteristics,” AIAA’s Aircraft Technology, Integration, and Operations (ATIO) 2002, October, 2002.
12. R. Moorthy and C. Teo, “Berth management in container terminal: The template design problem,” Container Terminals and Cargo Systems, vol. 2, pp. 63-86, 2007.
13. R. O’keefe, “Investigating outpatient departments: imple-

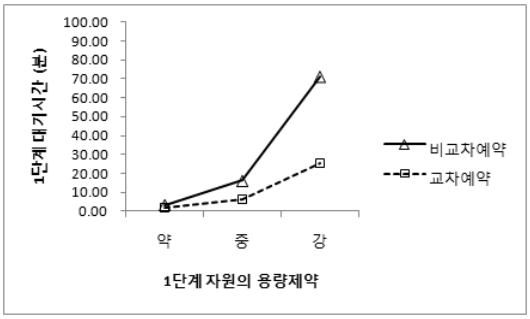
mentable policies and qualitative approaches," Journal of the Operational Research Society, vol. 36, no. 8, pp. 705-712, 1985.
14. W.P. Pierskalla and D.J. Brailer, "Applications of operations research in health care delivery," Ch.13 in Operations Research in the Public Sector, S. M. Pollock, M. H. Rothkopf, and A. Barnett (eds.); Vol.6 of Handbooks in Operations Research and Management Science, North-Holland, New York, 1994.
15. S. Ross, Introduction to probability models, 8th Edition, Academic Press, 2003.
16. D. Simchi-Levi, P. Kamisnsky, and E. Simchi-Levi, Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies, 3rd Edition, Irwin/McGraw Hill, 2008.
17. J. Vissers, "Selecting a suitable appointment system in an outpatient setting," Medical Care, vol. 17, no. 12, pp. 1207-1220, 1979.

민 대 기 (dmin@ewha.ac.kr)

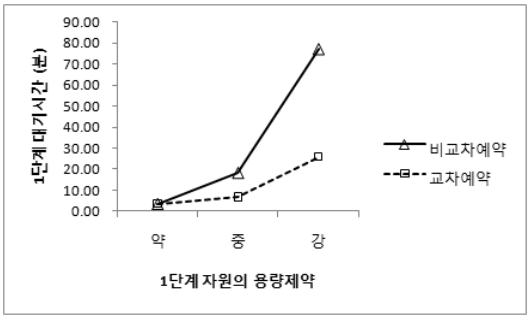
1999 서울대학교 산업공학과 학사
2001 서울대학교 산업공학과 석사
2010 퍼듀대학교 산업공학과 공학박사
2010～현재 이화여자대학교 경영학과 전임강사

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 서비스 운영관리, 스토케스틱 최적화

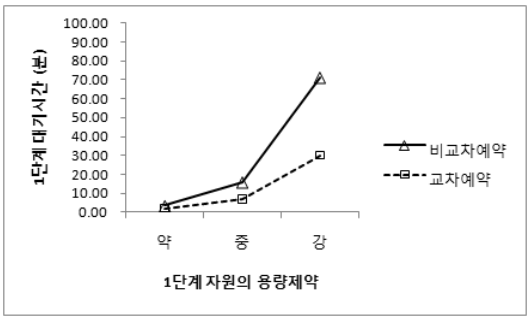
부 록



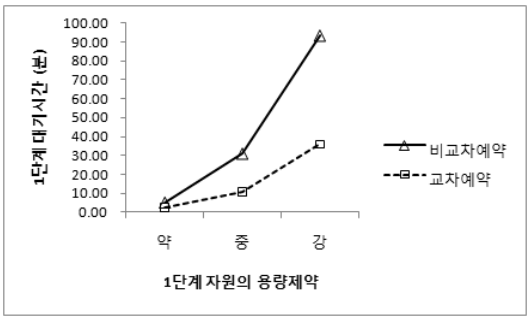
(a) B-I-



(b) B-I+

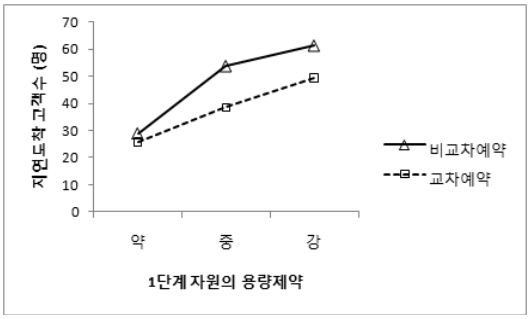


(c) B+I-

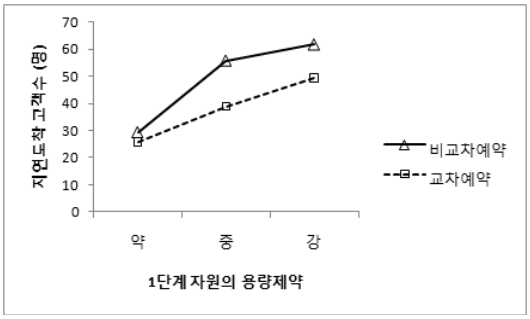


(d) B+I+

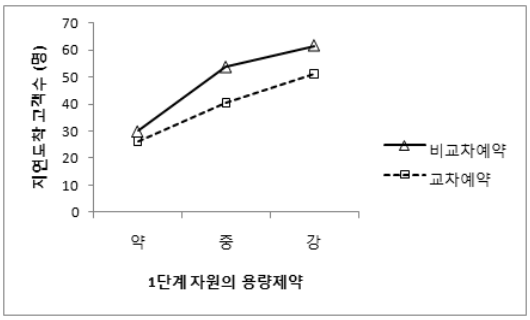
그림 4. 1단계 프로세스에서의 고객대기시간



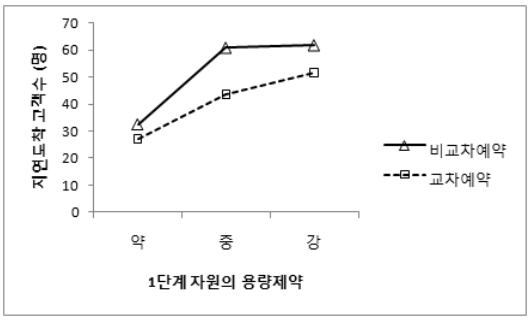
(a) B-I-



(b) B-I+

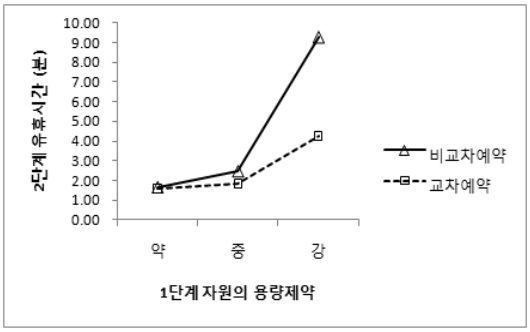


(c) B+I-

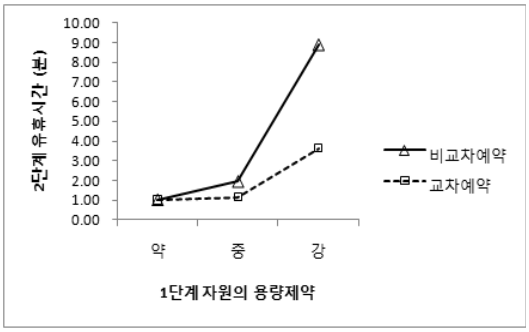


(d) B+I+

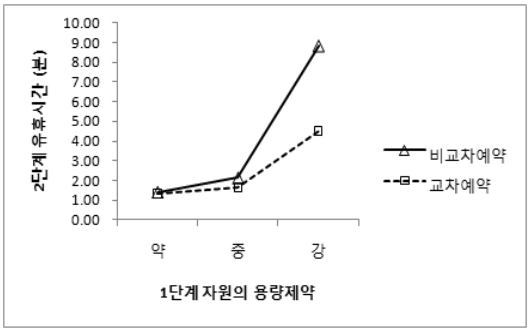
그림 5. 2단계 프로세스에서 지연 도착한 고객의 수



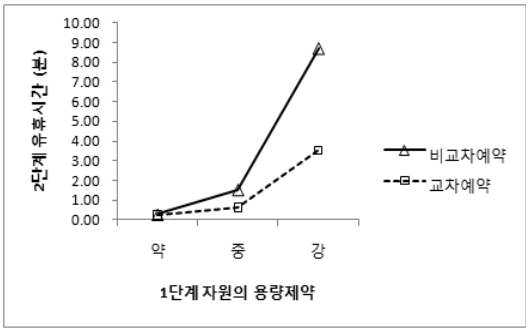
(a) B-I-



(b) B-I+

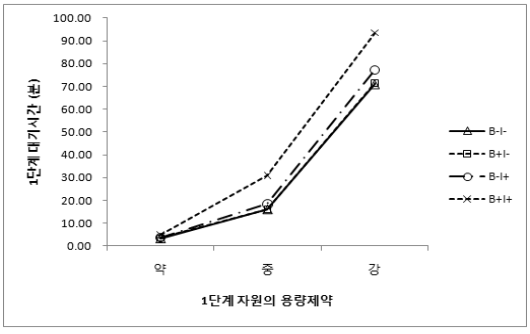


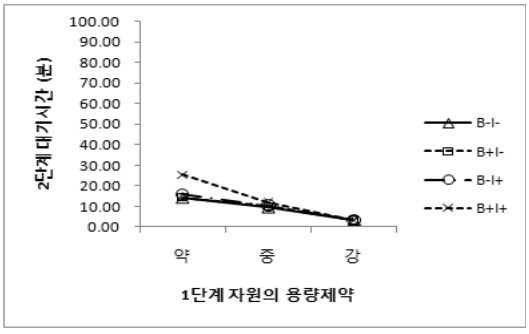
(c) B+I-



(d) B+I+

그림 6. 2단계 자원의 유휴시간





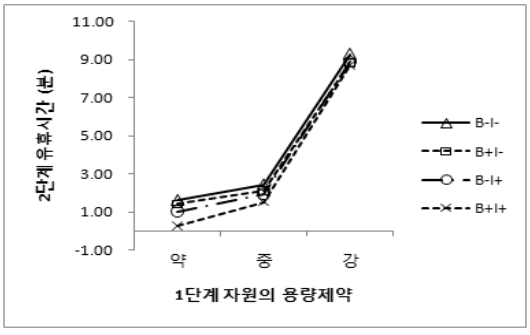


그림 7. 두 단계 서비스 시스템에서 일반예약정책의 비교