

최적화와 시뮬레이션을 이용한 콜센터의 인력 배치 연구

김성문^{1*} · 나정은² · 김수미¹

¹연세대학교 경영대학 경영학과 / ²연세대학교 공과대학 컴퓨터과학과

The Staffing Problem at the Call Center by Optimization and Simulation

Seongmoon Kim¹ · Jeong Eun Nah² · Sumi Kim¹

¹School of Business, Yonsei University, 262 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

²Department of Computer Science, College of Engineering, Yonsei University, 262 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

We develop a nonlinear integer programming model which minimizes the total cost with the optimal number of operators to hire and their optimal allocation to the tasks under the diverse constraints such as the weekly, daily, and hourly maximum allowable abandonment rates for the time-varying inbound call volume. We present a case study based on actual data at a call center, in order to prove the validity of applying the optimization method proposed. By the one-sample two-tailed t-test, we confirm that the expected abandonment rates resulting from the optimization method are identical with the ones from the discrete-event simulation within specified confidence intervals.

Keyword: call center, staffing, optimization, discrete-event simulation

1. 서론

종합병원의 진료예약 콜센터에서 근무하는 상담원들의 업무는 고객들이 걸어오는 인바운드콜에 응답해야 하는 일과 고객들에게 전화를 걸어 예약을 상기시켜주고 의사의 스케줄 변경으로 인해 기존 예약을 조정하는 아웃바운드콜, 서류 또는 전산 작업 등으로 나뉜다. 이 중에서 아웃바운드콜과 서류 및 전산 작업은 상담원이 업무를 할 시간대를 상당 부분 융통성 있게 선정할 수 있는 반면, 인바운드콜은 고객이 전화를 걸어왔을 때 신속하게 응답하지 않으면 고객을 놓치게 되고, 이것이 병원의 수익 및 고객만족도와 직결된다.

콜센터는 운영, 마케팅, 인적자원 등이 서로 밀접히 관련되어 있는 조직이다. 인바운드콜을 시도한 고객은 콜센터의 상황에 따라 서비스를 받거나, 대기 중이거나, 대기하다가 끊어

나, 또는 다시 걸 수도 있는데, 이러한 고객 행동이 콜센터의 중요한 평가지표(인바운드콜 수, 대기시간, 포기율 등)로 연관되어 있는 상황이다. 지금까지 관련된 연구를 보면 콜센터로 들어오는 인바운드콜을 상담원이 응대하는 대기행렬 모형으로 정의하고, 콜센터 운영관리를 효율적으로 하기 위한 연구가 많았다. Gans *et al.*(2003)과 Koole and Mandelbaum (2002)에서 인바운드콜을 응대하는 가장 단순한 콜센터 모형인 M/M/s 대기행렬 모형부터, 모든 상담원이 응대 중일 경우 연결되지 않는 상황을 고려한 M/M/s/B 대기행렬 모형, 그리고 고객이 대기하다가 포기하는 경우를 설명하는 M/M/s+M 대기행렬로 정의한 모형들을 소개하고 있다. 또한 Brown *et al.*(2005)에서는 대기행렬 모형으로 정의한 콜센터를 도착된 콜의 분포, 고객 성향, 제공되는 서비스 시간 등을 통계적인 기법으로 분석할 수 있음을 제안하고 있다.

*연락처 : 김성문 교수, 120-749, 서울시 서대문구 성산로 262 연세대학교 경영대학 경영학과,

Fax : 02-2123-8639, E-mail : kims@yonsei.ac.kr

투고일(2010년 03월 03일), 심사일(1차 : 2010년 04월 24일, 2차 : 2010년 08월 31일), 게재확정일(2010년 09월 10일).

응대하는 상담원이 한정적인 경우, 인바운드콜 도착률을 예측하기 어려운 상황에서 대기행렬과 포기콜의 발생은 불가피하다. Seltman(2005)은 보건 의료 분야에서의 고객관리 시스템이 다른 서비스 분야에 비해 서비스 레벨이 좋지 않다고 평가하고, 마케팅 측면에서 고객의 요구를 창출하는 것보다 현재 자연적으로 발생한 고객의 요구를 잘 획득하는 일이 중요하다고 주장한다. 이런 이유로, 포기콜 비율을 감소시켜야 하는 이유는 고객 서비스 향상과 더불어 병원의 수익 증대에 큰 기여를 할 수 있기 때문이다. Aguir *et al.*(2004)과 Aksin and Harker (2001), 그리고 Garnett *et al.*(2002)에서는 포기콜과 대기행렬에도 들어가지 못한 블록킹 상황을 고려한 시스템 성능 측정 모형을 도입하였으며, 현실적인 대기행렬 모형을 제시하여 이를 시스템 성능 측정 모형으로 활용할 수 있는 방안을 마련하였다. 특히, Aguir *et al.*(2004)은 고객의 시도가 콜센터로 연결이 되지 않는 경우, 고객이 포기했다가 재시도 하는 경우를 포함하여 콜 센터 대기행렬에 미치는 영향을 분석 가능하도록 모형을 제시하였으며, Artalejo *et al.*(2007)은 콜센터 상담인력의 수와 대기자 비율이 대기행렬의 길이를 결정하는데 영향력이 있음을 분석하고 콜센터 관리 차원의 주요한 수치로 활용하도록 제안했다.

Borst *et al.*(2004)은 큰 규모의 콜센터를 M/M/N의 단순 모형으로 가정하였으나, 대신 상담인원의 비용과 서비스 레벨을 고려한 적정인원을 산출하는 기준을 제시하였다. 대기행렬 길이나 대기시간의 이슈에서 수익과 비용 개념을 포함한 모형을 고려하기 시작했는데, 대기행렬 모형에 전화 완료 건수당 수익과 포기콜에 대한 비용 결손, 상담원 수와 사용한 전화라인 수 등에서 발생하는 비용을 포함한 모형을 제시하고 상담원 수와 스케줄을 최적화하려는 연구를 시도하였다(Hampshire and Massey, 2005). 이런 연구에서는 고객 서비스 레벨을 높이기 위한 대기시간의 감축, 포기율 감소 뿐만 아니라, 콜센터에서 감당해야 하는 비용을 감안한 최적화 모형을 만들어야 한다.

실제 상황에서는 변동의 원인이 콜센터 내부에 있는 것보다 인바운드콜 도착률처럼 외부 요인으로부터 야기되는 경우가 많은데, Cachon and Terwiesch(2006)은 콜센터 상황을 분석하여 적절한 수준의 공급능력을 정하고 변동성을 감소시킬 기회를 찾아 대기시간을 감소하는 방법을 소개하고 있다. Whitt(2006b)는 인바운드콜과 상담원의 불확실성으로 야기되는 상황을 고려하여 불확실성 변수를 도입한 모형을 개발하였는데, 콜에 대한 응답이 안정적으로 이뤄지는 시기의 측정결과를 가지고 적정 인원을 배치한 후, 불확실성(인바운드콜 도착율, 콜센터 상담원의 결근, 부재중인 경우 등)에 대한 모형 변수를 적용하여 문제를 해결하고자 하였다. 최근 콜센터 상황과 현재 운영 상황을 근거로 하여, 다가올 가까운 시기의 콜센터 상황을 예측하여 모든 인바운드콜에 응대하기 위해 인력을 배치하는 동적 인력배치(dynamic staffing)에 대한 연구가 있었는데(Whitt, 1999), 이는 인바운드콜을 응대하는 상담원이 정해져 있는 상황에서는 구현이 매우 어렵다. 그렇지만, 인바운드콜 양이 많은 경우의 응대를 위해 상담인력을 충분히 배치한다면, 인바운드콜 도

착율이 낮은 경우, 다른 작업을 하게 하여 유연한 인력배치를 가능토록 할 수 있다. Mariotto(2004)는 예약 부도율이 높은 상황에서 예약확인 아웃바운드 콜 시행한 후 예약 부도율이 낮아진 실제 통계 자료를 제시했다. 따라서 인바운드콜 도착율이 낮은 시간대에 아웃바운드 콜을 시행하는 방안을 콜센터 운영에 포함시킬 수 있다면 인바운드콜이 적을 경우 아웃바운드콜의 시도처럼 다른 업무를 할당하는 것도 가능하다. 본 연구에서도 인바운드콜을 응대하는 적정 인력 배치를 우선으로 하고, 다른 시간대에 아웃바운드콜이나 또는 서류 및 전산 업무, 식사 및 휴식 등 다른 업무를 처리할 수 있도록 설계하였다. 하지만, 처리할 업무량에 근거하지 않고 무조건 상담인력을 증가한다는 것은 비용의 낭비를 초래한다.

매일경제 특집기사(2006)에서는 고객 응대 업무가 매우 힘든 업무여서 상담원이 하루 근무 시간 내내 인바운드콜을 응대하는 것이 불가능하다는 현장 경험내용을 콜센터 관련 특집 기사로 다루었다. 콜센터 성과 영향 요인을 문헌 고찰을 통해 분석한 연구에서도 전략/계획, IT인프라, 커뮤니케이션, 프로세스, 인적자원 관리 중 인적자원 관리가 콜센터 성과에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다(정기주 외, 2004). Whitt(2006a)도 콜센터의 채널이 다양화 됨에 따라 고객 컨택센터로 전환되고 있는 시점에서, 단순히 시간당 몇 통의 전화를 받았느냐의 성과 지표가 아니라 제공되는 서비스 수준이나 정해진 시간내의 수익창출, 정해진 시간내의 해결된 문제 수 등의 지표로 바뀌어져 가고 있고, 이런 측면에서 상담원의 축적된 경험이나 숙련도가 콜센터 성과지표를 지속적으로 유지하는 것과 관련됨을 지적하였다. 이처럼 콜센터의 중요한 성과 요인은 콜 응대를 하는 상담원과 직접적으로 관련되어 있다.

Mehrotra and Fama(2003)는 최근 콜센터의 변화되는 환경(데스크 탑 컴퓨팅, 아웃소싱, 채널 다양화, 상담원 스킬에 따른 통화 전환 등)을 고려하여 시뮬레이션 모형으로 표현하였으며, Pichitlamken *et al.*(2003)은 아웃바운드콜 시행을 포함한 콜센터를 시뮬레이션 모형으로 개발하여 인력효율측면, 포기율, 아웃바운드 콜 비율 등의 성능측정을 하였다. 또한 콜센터에서는 다양한 형태의 전화를 받지만, 모든 상담원이 항상 정확한 응답을 할 수 있는 것은 아니다. Wallace and Whitt(2005)은 이런 상황에서 상담원이 정확한 응답을 할 수 있도록 콜센터 내 효과적인 상담원 배치를 위한 콜 라우팅 알고리즘을 개발하여, 적정인원 배치와 콜 분배를 동시에 해결하려 했다.

지금까지 콜센터의 운영에 관한 많은 연구가 있었지만, 기존의 연구와 차별화된 본 논문의 특징은 다음과 같다. 전통적인 대기행렬 이론에서는 인바운드콜의 도착 분포와 서비스 분포, 그리고 서버수를 이용하여 중간 단계로서 대기시간을 구하고, 이를 이용하여 최종적으로 포기콜 분포를 모형화할 수 있다. 하지만, 이러한 방법에서는 수학적으로 다룰 수 있도록 확률 분포 등 여러 가지가 근사화 되면서 실제와 차이가 커지게 된다. 본 연구에서는 분석 대상으로 사용된 대형 종합병원 콜센터의 실제 과거 데이터를 분석한 결과, 인바운드콜의 수는 요일별, 시간대 별로 매주 주기(cycle)을 가지고 평균값을 중

심으로 큰 편차없이 반복되고 있었으며, 또한 인바운드콜의 업무 부하와 그에 따른 평균 포기율은 강한 상관관계를 직접적으로 보여주고 있었다. 따라서, 본 연구에서는 중간 단계인 대기시간을 거치지 않고, 인바운드콜의 수와 해당 업무를 실제 담당할 서버수를 결합한 인바운드콜 업무 부하 지수를 개발하여, 궁극적인 관심사인 평균 포기율과 그에 따른 금전적 손실을 직접적으로 구하는 방법을 사용한다.

본 논문에서는 시간대에 따라 변화하는 인바운드콜의 예측값 하에서 주간, 일간 및 매 시간대에 주어진 최대 허용 포기율과 기타 여러 제약조건식들을 만족시키면서, 인건비와 포기콜 비용으로 구성된 총 비용을 최소화하는 총 상담원 수와 그들의 시간대별 각 업무 배치에 관한 최적해를 구하는 것을 목표로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 의사결정변수 및 매개변수 등을 정의하고, 여러 제약조건식들을 만족시키면서 최적해를 찾아내는 모형을 비선형 정수계획법을 이용하여 설계한다. 제 3장에서는 실제 운영 중인 종합병원 콜센터 자료를 사용하여 제 2장에서 설계한 일반적인 모형에 적용하여 최적 인력 및 배치를 찾아내는 사례를 보인다. 제 4장에서는 제 3장에서 구한 최적 인력 및 배치를 이산 사건 시뮬레이션을 통해 검증함으로써, 본 연구의 타당성 및 실용성을 보인다. 제 5장은 본 연구에 대한 결론과 향후 관련된 연구범위에 대해 논의한다.

2. 문제정의 및 모형

인바운드콜에 대한 응답이 늦어져 대기시간이 길어지고, 이것으로 인해 고객들이 통화 연결을 포기하는 비율을 A 라 놓자. 실제 통계자료에 의하면 A 는 요일과 시간에 따라 편차를 가진다. 이 포기율 A 에 직접적으로 영향을 미치는 여러 요소를 결합하여 다음과 같은 표준화된 수치인 인바운드콜 비율(인바운드로드) I 를 정의하자.

$$I = \text{인바운드콜 담당 상담원 한 명당 시간당 걸려오는 인바운드콜 수} \quad (1)$$

I 가 증가한다는 의미는 근무중인 상담원마다 시간당 처리해야 할 인바운드콜의 수가 늘어난다는 의미이며, 인바운드콜의 수가 상담원당 처리할 수 있는 수준을 넘어서게 되면 통화 대기시간이 길어지게 되고 놓치게 되는 인바운드콜의 수가 증가하게 되며, 즉 포기율 A 또한 비례하여 증가함을 의미한다. 식 (1)에서 정의된 의미에 맞게 I 를 세부적으로 분석하기 위해 다음 변수들을 도입하여 다시 표현하면 다음과 같다.

$$I = \frac{\lambda}{e \cdot n} \quad (2)$$

여기서

λ = 시간당 총 인바운드콜의 수,

n = 총 상담원의 수,

e = 매시간 총 상담원 중 인바운드콜 업무에 할당할 인원의 비율

로 정의한다. 전통적인 대기행렬 이론에서 시스템 분석에 필요 요소인 시간당 도착률(본 논문에서는 총 인바운드콜의 수 λ) 이외에 이렇게 인바운드콜 비율 I 를 정의하는 이유는 인바운드콜 업무를 담당하는 상담원의 숫자를 시간대에 따라 동적으로 다르게 배치할 수 있기 때문에 상담원 한 명당 처리해야 할 인바운드콜의 수인 I 를 도입하였다.

실제 콜센터의 데이터를 보면 인바운드콜 비율 I 와 포기율 A 는 상관관계를 보이는데, 이를 분석하여 보자. 예를 들어 최근 3개월 또는 6개월과 같이 특정 기간 동안 날짜와 시간대에 따라 (λ, n, e, A) 의 데이터를 측정한다면 I 를 계산할 수 있고, 그래프 상에 충분한 데이터 포인트 (I, A) 를 얻은 후, 회귀분석과 같은 통계적 기법에 의해 (I, A) 의 상관 관계를 얻어낼 수 있다. 즉, 포기율 A 와 인바운드콜 비율 I 의 관계가 어떠한 함수 $f(\cdot)$ 의 형태로 표현된다고 한다면

$$A = f(I) = f\left(\frac{\lambda}{e \cdot n}\right) \quad (3)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 콜센터의 실제 데이터로부터 확인한 결과 $f(\cdot)$ 는 요일과 시간대에 따라 다른 형태를 가지는 함수가 아니고, 단지 I 값의 크기에 따라 A 값이 결정되므로, 이런 경우 단일한 함수 $f(\cdot)$ 를 모든 요일과 시간대에 사용하는 것이 가능하다.

이제 (I, A) 의 관계를 식 (3)에서 얻은 후, 예를 들면 5%와 같이 목표로 하는 최대 허용 포기율을 정할 때 인바운드콜 업무에 할당해야 할 적정 상담원의 수를 계산하는 절차를 고려하여 보자. 요일과 시간에 대해 다음과 같이 $d \in D \subset \{\text{월, 화, 수, 목, 금, 토, 일}\}$ 와 $t \in T \subset \{0:00 \sim 1:00, 1:00 \sim 2:00, \dots, 23:00 \sim 24:00\}$ 를 정의하자. 그리고, d 와 t 에 대하여 목표 포기율을 A_t^d , 예상되는 인바운드콜의 시간당 기대값을 λ_t^d , 전체 인원 중 인바운드콜 업무에 할당할 인원의 비율을 e_t^d 라 놓고, 그리고 요일 d 에 대하여 목표 포기율을 달성하기 위해 확보해야 할 총 상담원 수를 n^d 라 놓자. 여기서 과거의 데이터 등에 기반하여 평균값 또는 시계열 예측 등의 방법을 사용하여 예상할 수 있는 λ_t^d 값은 진료예약 콜센터 내부에서 통제할 수 없는 값이다. 목표 포기율 A_t^d 를 달성하기 위해 총 근무인원 중에서 인바운드콜 업무에 할당할 인원수 N_t^d , 즉 $e_t^d \cdot n^d$ 값을 식 (3)을 사용하여 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$N_t^d \equiv e_t^d \cdot n^d = \frac{\lambda_t^d}{f^{-1}(A_t^d)} \quad (4)$$

식 (4)에서 알 수 있듯이 인바운드콜을 담당하는 상담원의

수 N_t^d 값은 목표 포기율에 대해 일정한 값을 가지게 되는데, 이를 유지하기 위하여 n^d 뿐만 아니라 e_t^d 도 변경시킬 수 있다.

지금까지는 목표로 하는 포기율 A_t^d 가 d 와 t 에 대하여 주어졌을 때 전체 근무인원 중 인바운드콜에 할당할 상담원의 수 N_t^d 를 구하는 법을 소개하였으나, 실제의 경우에는 콜센터에서 d 와 t 에 대하여 목표 포기율을 얼마로 가져가야 하는지, 그리고 요일별로 총 몇 명의 상담원 n^d 를 확보하고 e_t^d 를 사용하여 각 시간대별로 여러 업무에 어떻게 할당해야 최적이 되는지 정하는 것이 쉽지만은 않다. 예를 들면, 어떤 병원에서 모든 요일과 시간을 고려한 진료예약 콜센터의 한 주간 전체 평균 포기율을 5% 미만으로 가져가기를 원한다고 가정하자. 이러한 목표를 달성하기 위하여 요일별로 전체 근무인원의 수를 변경시키는 것이 어렵다면 매일 5% 목표 포기율을 설정하기보다, 인바운드콜의 수가 높은 월요일은 포기율을 7%로 하고, 월요일에 비해 인바운드콜의 수가 훨씬 낮은 금요일은 3%로 설정하는 등의 방식으로 한 주간 전체 평균 포기율 5%를 달성할 수도 있을 것이다. 그리고, 각각의 요일마다 고객들에게 좋은 병원으로서의 이미지를 유지하기 위해 포기율이 통상 높은 점심 식사 교대시간에도 포기율을 최대 20% 미만으로 가져가겠다고 설정함으로써 최소한의 서비스 수준을 유지하고 나머지 시간대에는 포기율을 5% 미만으로 가져가겠다고 최대 허용 포기율의 수치를 지정할 수 있으며, 심지어 점심 시간대에 20%의 상대적으로 높은 포기율을 가져간다고 할지라도 다른 시간대와 가중 평균을 계산하여 각각의 요일에 대하여 설정한 포기율을 만족시키는 것도 가능할 수 있다.

본 연구에서는 콜센터에 주어져 있는 여러가지 제약조건을 만족시키면서 총 비용을 최소화하는 총 상담원 수와 인바운드콜 및 기타 업무 각각에 할당할 상담원의 수를 결정하기 위해 다음과 같은 비선형정수계획 모형을 고려한다.

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && \sum_d \sum_t (c_n e_t^d n^d + c_a \lambda_t^d A_t^d) \\ & \text{subject to} && A_t^d \leq y_t^d \quad \forall d, t \\ & && \frac{\sum_t \lambda_t^d A_t^d}{\sum_t \lambda_t^d} \leq y^d \quad \forall d, t \\ & && \frac{\sum_d \sum_t \lambda_t^d A_t^d}{\sum_d \sum_t \lambda_t^d} \leq y \\ & && A_t^d = f(I_t^d) \quad \forall d, t \\ & && I_t^d = \frac{\lambda_t^d}{e_t^d \cdot n^d} \quad \forall d, t \\ & && l_t^d \leq e_t^d \leq u_t^d \quad \forall d, t \\ & && L^d \leq n^d \leq U^d \quad \text{정수} \quad \forall d \end{aligned}$$

여기서

$y_t^d = t$ 와 d 에 대한 최대 허용 포기율

$y^d = d$ 에 대한 최대 허용 포기율

$y =$ 매 주당 최대 허용 포기율,

$l_t^d (u_t^d) = t$ 와 d 에 대한 e_t^d 의 하한값(상한값),

$L^d (U^d) = d$ 에 대한 n^d 의 하한값(상한값),

$c_n =$ 상담원 한 명당 시간당 인건비,

$c_a =$ 포기콜당 초래되는 기회비용의 손실

을 의미한다. 위의 비선형정수계획 모형에서는 총 상담원 중 인바운드콜 업무에 배치할 최적의 인원을 계산하기 위하여 인바운드콜 업무를 처리하는데 사용되는 인건비만을 고려하고, 다른 업무를 처리하는데 관련된 인건비는 별도로 지급된다고 가정하자.

제약조건식에 대해 몇 가지 추가 설명을 하자면, 첫 번째, 두 번째, 세 번째 제약조건식은 앞에서 언급된 예에서와 같이 콜센터의 포기율에 대한 최대 허용 수치를 만족시켜야 함을 나타낸다. 이와 같이 각각의 d 와 t 에 대해 고객의 수요에 응대하기 위하여 포기율을 최대 몇 % 미만이라 지정할 수 있으며, 또한 시간별로 가중평균의 방식을 적용하여 각각의 d 에 대해 일 평균 포기율의 값이 몇 % 미만이어야 함을 규정할 수 있으며, 요일별로 가중평균 방식을 적용하여 한 주간 전체적인 최대 허용 포기율을 설정할 수 있다.

마지막에서 두 번째 제약조건식은 e_t^d 의 값이 근무 패턴을 고려하여 조정되더라도 상한과 하한값 사이에서 정해져야 한다는 의미인데, 예를 들면 점심 식사 교대 시스템을 변경시키더라도 고객만족을 위해서 최소한 점심 시간대에 총 상담원의 30%는 인바운드콜 업무를 맡아야 한다는 정책을 세울 수 있고, 또 다른 시간대에는 상담원들의 아웃바운드콜 업무, 서류 및 전산 업무, 회의, 휴식 등 기타 작업 때문에 총 인원의 최대 70% 이상은 인바운드콜 업무를 볼 수가 없는 경우가 생길 수도 있다. 이와 같이 기타 작업의 업무 부하를 고려하여 e_t^d 의 범위를 설정하게 된다. 고용해야 할 적절한 총 상담원의 수를 미리 알 수 없기 때문에, 각 시간대별로 인바운드콜 업무에 할당될 상담원 수의 상한값과 하한값을 직접 정하는 것은 현실적이지 않지만, 총 상담원의 수는 모르더라도 전체 상담원 중 몇 %가 인바운드콜 업무에 배치될 수 있는지의 상한값과 하한값은 정하기 쉽기 때문에, 본 모형에서와 같이 의사결정변수 n^d 와 e_t^d 두 개 모두 필요하게 된다. 본 연구에서는 적절한 인력 확보 n^{d*} 와 효과적인 작업 배치 e_t^{d*} 를 통하여 인바운드콜을 처리하는데 있어 총 비용의 두 가지 요소, 즉, 인건비와 포기콜 손실의 합을 최소화하려 한다.

Nash(1998)는 비선형계획법의 해를 전문적으로 찾는 수많은 소프트웨어 패키지들을 광범위하게 조사하여 각각의 장단점을 분석하였다. 이 중에서 특별히 Lindo Systems에서 개발한 소프트웨어 패키지인 LINGO와 What's Best는 global optimizer라는 기능을 사용하여 얻은 해가 global 최적해라는 것을 보장한다고 상세 과정이 Hillier and Lieberman(2010, 588)에 설명되어 있다.

3. 응용 및 수치 예제

이번 장에서는 제 2장에서 제안된 수리계획 모형에 실제 콜센터 데이터가 주어질 때 어떻게 적용하는가를 보임으로써, 본 연구의 타당성 및 실용성을 나타내고자 한다. 본 논문에서 분석 대상으로 설정한 콜센터는 한 종합병원의 진료예약 콜센터이다. 월요일에서 금요일까지 24명의 풀타임 상담원은 8:00~17:00와 9:00~18:00에 전체 인원의 2/3와 1/3씩 두 그룹으로 나누어 출퇴근 시간에 따라 근무하며, 토요일에는 격주로 8:00~13:00 동안 근무한다.

인바운드콜의 수요는 점진적으로 증가하고 있지만 상담원 수가 증가하지 않았고, 피크 시간대에는 진료예약센터의 상담원 수에 비해 걸려 오는 전화의 수가 많아져 통화 대기시간이 길어지고 하루 중 특정 시간대에는 약 47%의 고객이 상담원에게 연결되기 전에 포기하고 전화를 끊는 것으로 관찰되었다. 이러한 포기콜의 높은 수치는 고객들에게 만족을 주지 못할 뿐만 아니라 병원의 재정에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 포기율을 줄이기 위해 상담원의 수를 증가시킨다면 포기콜과 통화 대기시간을 줄이는데 도움이 되겠지만, 요구되는 서비스 레벨보다 필요이상의 상담원을 고용하게 된다면 인건비의 낭비와 효율의 저하를 초래할 수 있다. 따라서 병원측에서는 총 몇 명의 상담원을 고용하여, 각 요일과 시간별로 몇 명을 인바운드콜 업무와 다른 업무에 배치해야 하는지 관심을 갖게 되었다. 이에 이번 장에서는 제 2장에서 소개된 방법론을 사용하여 적정 상담원의 수와 효과적인 업무 배치를 통하여 비용을 최소화하며, 동시에 고객 만족도와 병원의 수익을 증대시키는 방법을 모색하려 한다.

표 1. 입력데이터

	λ	e	n	I	A	
1월 2일 월	8:00~9:00	211	0.48	24	18.5	0.0
	9:00~10:00	607	0.57	24	44.6	32.9

	17:00~18:00	203	0.20	24	42.3	39.9
1월 3일 화	8:00~9:00	165	0.48	24	14.5	1.2
	9:00~10:00	460	0.57	24	33.8	10.9

	17:00~18:00	164	0.20	24	34.2	17.1
...	

<표 1>에서와 같이 매 시간당 (λ, n, e, A)의 데이터가 주어졌을 때 I 와 A 의 관계를 도출하는 방법을 보자. 예를 들어, 1월 2일 9:00~10:00기간에는 607통의 인바운드콜이 걸려왔으며 그때 총 상담원수인 24명의 57%인 약 14명이 인바운드콜 업무를 처리하고 있었으며 식 (2)을 이용하여 계산한 인바운드콜 업무중인 직원 한 명당 시간당 걸려오는 인바운드콜의 비율 I 는 대략 44.6통 정도이다. 그리고 이 기간 동안에 포기율 A 는 32.9%였다.

이런 식으로 데이터를 측정하여 <그림 1>과 같이 그래프에

데이터 포인트 (I, A)를 나타내고, 회귀분석을 통하여 두 변수의 상관관계를 구한다.

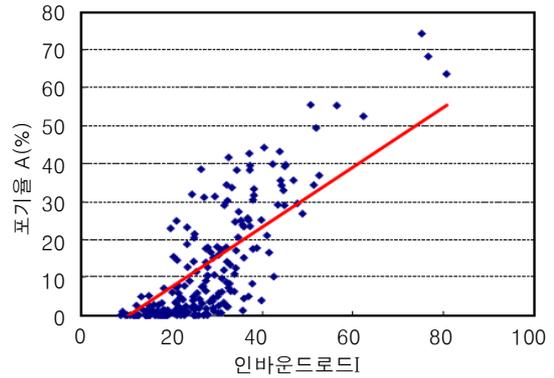


그림 1. 인바운드콜 비율과 포기율과의 관계

<그림 1>에서 I 와 A 의 상관관계를 1차 최소자승법을 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$A = f(I) = \begin{cases} 0 & \text{if } I < 10.5 \\ 0.007901I & \text{if } I \geq 10.5 \\ -0.08295 & \end{cases} \quad (5)$$

위 식 (5)에서 $R^2 = 0.6148$ 을 나타내었다. 본 논문의 연구 대상인 콜센터 운영과 관계되는 사회과학 분야에서는 R^2 가 0.25보다 클 때 상관관계에 충분히 의미있는 경우가 많고, 0.6보다 큰 경우는 상당한 설명력을 보여주는 것으로 해석될 수 있다 (Anderson et al., 2008). 따라서 식 (5)가 인바운드콜 비율과 포기율의 관계를 충분히 설명해 주고 있다고 볼 수 있다.

표 2. 시간당 인바운드콜의 기댓값, λ_t^d

λ_t^d	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	250	176	167	145	119	77
9:00~10:00	561	426	379	315	310	247
10:00~11:00	599	421	368	317	313	276
11:00~12:00	540	324	338	281	280	187
12:00~13:00	428	252	220	214	204	125
13:00~14:00	581	306	267	236	253	
14:00~15:00	424	263	244	251	213	
15:00~16:00	316	260	268	236	206	
16:00~17:00	270	220	258	221	182	
17:00~18:00	193	144	135	119	89	

이제 요일 d 와 시간 t 에 대하여 목표로 하는 최대 허용 포기율이 주어질 때 이를 만족시키는 적정 상담원을 산출하는 방법을 분석하여 보자. 먼저 <표 2>와 같이 시간당 인바운드콜의 예측값 λ_t^d 가 주어진다고 하자. λ_t^d 값은 <표 1>에서와 같이 일정 기간동안 측정된 λ 값에 기반하여 요일과 시간대별로 평균을 내거나 시계열 예측 등의 방법을 사용하여 얻어낼 수 있

다. <표 2>에 주어진 λ_t^d 값의 경향은 종합병원의 콜센터에서 볼 수 있는 전형적인 모습으로서 업무를 하지 않는 일요일 다음인 월요일, 또는 공휴일 다음날에 인바운드콜의 수요가 가장 많고 금요일로 갈수록 점차 수치가 떨어진다. 토요일에는 인바운드콜의 수요가 상대적으로 낮지만 진료예약 콜센터의 상담원들이 격주로 근무를 하므로 실제로는 전체 인원의 1/2만 근무하게 되어, 실제로 상담원 한 명당 담당하게 되는 인바운드콜의 시간당 비율은 월요일 또는 화요일 수준으로 높아짐을 알 수 있다.

요일별 인바운드콜의 수치를 고려하여 <표 3>과 같은 목표 최대 허용 포기율을 설정하였다고 하자. 즉, 모든 요일과 시간대를 고려한 진료예약 콜센터의 인바운드콜 중 주간 전체 평균 포기율의 상한선을 현재의 평균인 약 15%의 절반인 $y = 7.5\%$ 로 설정하기를 원하고, 이를 달성하기 위하여 과거 자료를 바탕으로 한 요일별 인바운드콜의 비율을 고려하여 월요일부터 토요일까지 각 요일의 목표 포기율의 상한선 y_t^d 를 (10, 8, 7, 6, 5, 7)%로 설정하였다. 그리고, 각 요일에 대하여 시간대별로 인바운드콜의 평균 수치와 기타 업무 및 식사교대 등의 근무 패턴을 고려하여 최대 허용 포기율의 상한선 y_t^d 을 설정하는데, 예를 들면, 수요일에는 점심식사 교대시간에는 20%, 17:00~18:00에는 10%, 나머지 시간대에는 모두 5%로 최대 허용 포기율을 설정하였다.

표 3. 인바운드콜의 목표 최대 허용 포기율(단위 : %)

y_t^d	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	10	5	5	5	5	10
9:00~10:00	10	5	5	5	5	10
10:00~11:00	10	5	5	5	5	10
11:00~12:00	10	5	5	5	5	10
12:00~13:00	25	20	20	20	20	15
13:00~14:00	25	20	20	20	20	
14:00~15:00	10	5	5	5	5	
15:00~16:00	10	5	5	5	5	
16:00~17:00	10	5	5	5	5	
17:00~18:00	15	10	10	10	10	
y_d	10	8	7	6	5	7
y	7.5					

이제 전체 상담원 중 어느 정도의 비율을 인바운드콜 업무에 할당할지에 관한 의사결정 변수 e_t^d 를 정해야 하는데 이 값이 가질 수 있는 상한값 u_t^d 와 하한값 l_t^d 가 <표 4>와 같이 주어진다고 하자. <표 4>와 같은 e_t^d 의 상한값과 하한값은 현장의 관행과 현실성을 위하여 진료예약 콜센터의 운영자와 논의한 후 상담원들의 식사교대 및 기타 업무에 관한 부하를 고려하여 정할 수 있는데, 예를 들면 <표 4>에서 $d =$ 수요일, $t =$ 12:00~13:00에는 점심 식사 교대 및 기타 업무로 인하여 최대 전체 근무인원의 50% 이상을 인바운드콜 업무에 할당할 수 없으며, 고객에 대한 서비스 수준을 유지하기 위하여 최소

한 전체 근무인원의 20%는 인바운드콜 업무를 담당 해야만 한다는 의미이며, 즉 $0.2 \leq e_{12:00-13:00}^d \leq 0.5$ 를 뜻한다.

표 4. e_t^d 의 상한값과 하한값

l_t^d	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
9:00~10:00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
10:00~11:00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
11:00~12:00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
12:00~13:00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
13:00~14:00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
14:00~15:00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
15:00~16:00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
16:00~17:00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
17:00~18:00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
u_t^d	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
9:00~10:00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
10:00~11:00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
11:00~12:00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
12:00~13:00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.33
13:00~14:00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
14:00~15:00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
15:00~16:00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
16:00~17:00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
17:00~18:00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	

폴타임 및 파트타임 직원을 이용하여 요일 및 시간별로 근무 인원수를 다르게 설정할 수 있는 콜센터와 달리, 본 논문에서 분석 대상으로 하는 진료예약 콜센터는 의료상담과 적절한 진료과 및 의사를 환자들에게 연결시켜줘야 하는 업무의 전문성 때문에 파트타임으로 상담원을 고려하기 보다는 풀타임으로 상담원을 고용하기 원한다. 따라서 의사결정변수 n^d 를 모든 d 에 대하여 동일하게 설정할 수 있다.

현재 총 상담원의 수인 24명을 노조와의 협약 및 노동법에 의해 더 줄일 수가 없기 때문에 각 요일에 대한 하한값을 $L^d = 24$ 로 설정했으며, 콜센터의 현재 공간상의 문제와 인건비에 대한 예산 등을 고려해 총 상담원 수의 상한선을 모든 d 에 대하여 $U^d = 33$ 으로 설정하였다. 토요일에는 따로 총 상담원 수의 하한값과 상한값을 주는 대신에, 최적 총 상담원 수의 절반을 설정함으로써 격주 근무를 시행할 수 있다.

총 비용의 두 가지 요소인 인건비와 포기콜 손실을 보자. 상담원들의 현재 임금과 부가급부를 모두 합쳐 시간당으로 계산하여 보면 $c_n = 15,200$ 원에 해당한다고 하자. 인바운드콜 중에서 상담원과 연결된 통화는 예약과 관련되어 병원에 수익을 안겨주는 것이 있고, 순수하게 상담만 하는 등 병원의 수익에 직접적으로 연결되지 않는 것들도 있다. 통화가 연결된 인바운드콜 중 예약으로 연결되는 비율, 그리고 포기콜의 비율 및 포기콜 중 다시 추후에 전화를 걸어오는 비율, 전화로 예약한

환자들 중 1인당 평균 올리게 되는 수익 등 여러 요소를 분석하여, 놓치게 되는 인바운드콜 한 통당 기회비용의 손실이 $c_a = 5,500$ 원에 상응한다고 하자. 이러한 시간당 임금 및 기회비용 손실은 진료예약 콜센터 및 병원마다 다른 값을 가지는 것이 일반적이다.

지금까지 주어진 모든 매개변수를 가지고 제 2장에서 소개된 수리계획 모형에 입력하고 Lindo Systems사의 소프트웨어 패키지 What's Best 9.0을 global optimizer와 결합하여 최적해를 찾았다. Intel® Core™2 Quad CPU 2.4GHz와 3.5GB RAM 사양 하에서 계산 시간은 20초가 걸렸으며, 최적 총 풀타임 상담원 수 32명과 총 비용 17,951,765원을 얻었다.

$$n^{d*} = 32 \quad \forall d$$

그리고 토요일에는 격주로 근무하여 32명의 절반인 16명씩 매주 근무한다. 또한, 각 요일 및 시간대별 최적 배치 e_t^{d*} 는 <표 5>와 같이 얻었다.

표 5. 인바운드콜 최적 배치 비율 e_t^{d*}

e_t^{d*}	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	0.42	0.33	0.31	0.30	0.30	0.30
9:00~10:00	0.90	0.79	0.70	0.58	0.58	0.83
10:00~11:00	0.90	0.78	0.68	0.59	0.58	0.90
11:00~12:00	0.90	0.60	0.63	0.52	0.52	0.63
12:00~13:00	0.50	0.42	0.37	0.36	0.34	0.33
13:00~14:00	0.50	0.50	0.45	0.39	0.42	
14:00~15:00	0.71	0.49	0.45	0.47	0.40	
15:00~16:00	0.53	0.48	0.50	0.49	0.40	
16:00~17:00	0.45	0.41	0.48	0.41	0.40	
17:00~18:00	0.32	0.24	0.23	0.20	0.15	

이제 총 32명의 상담원을 진료예약 콜센터에 고용하기로 결정하였을 때, 요일과 시간대별로 인바운드콜 업무와 다른 업무에 상담원을 배치하는 방법을 보자. <표 5>에서 구한 최적의 e_t^{d*} 값과 n^{d*} 값을 사용하여 인바운드콜 업무에 할당할 최적의 상담원 수 $N_t^{d*} = e_t^{d*} \cdot n^{d*}$ 를 구한 후 소수점 부분은 분단위까지 사용하여 정확히 맞출 수 있으나, 소수점은 정수로 올림하여 각 시간대 마다 정수의 인원을 배치할 수 있다. 상담원 수 올림 효과로 인해 추가되는 인건비가 크지 않다면, 최대 허용 포기율 조건을 위반하지 않고, 추가로 약간 더 포기율을 낮추는 효과가 있기 때문에, 고객만족 차원에서 이러한 결정을 내릴 수 있다. 계산 결과 나온 상담원 수를 정수로 올림한 결과는 <표 6>과 같다.

월요일부터 금요일까지는 총 32명의 상담원이 근무하게 되는데, 약 2/3인 21명은 8:00~17:00동안에 근무하고, 나머지 11명은 9:00~18:00에 맞춰 근무하게 된다. 토요일에는 총 32명의 1/2인 16명이 격주로 근무하게 되는데, 10명은 8:00~12:00동안에 근무하고, 나머지 6명은 9:00~13:00에 맞춰 일한

다. 이제 월요일부터 토요일까지 각 시간대별로 근무하게 되는 총 인원수로부터 <표 6>의 N_t^{d*} 를 차감함으로써 식사교대 및 서류, 전산 등 기타 작업에 배치할 수 있는 인원수인 S_t^{d*} 를 <표 6>의 아래부분에서와 같이 얻어낸다.

표 6. 최적 인력 배치

N_t^{d*}	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	14	11	10	10	10	5
9:00~10:00	29	26	23	19	19	14
10:00~11:00	29	26	22	19	19	15
11:00~12:00	29	20	21	17	17	11
12:00~13:00	16	14	12	12	11	6
13:00~14:00	16	16	15	13	14	
14:00~15:00	23	16	15	15	13	
15:00~16:00	17	16	16	16	13	
16:00~17:00	15	14	16	14	13	
17:00~18:00	11	8	8	7	5	
S_t^{d*}	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	7	10	11	11	11	5
9:00~10:00	3	6	9	13	13	2
10:00~11:00	3	6	10	13	13	1
11:00~12:00	3	12	11	15	15	5
12:00~13:00	16	18	20	20	21	0
13:00~14:00	16	16	17	19	18	
14:00~15:00	9	16	17	17	19	
15:00~16:00	15	16	16	16	19	
16:00~17:00	17	18	16	18	19	
17:00~18:00	0	3	3	4	6	

<표 6>에서 볼 수 있듯이 월요일에는 인바운드콜의 수치가 높기 때문에 목표 포기율을 달성하기 위하여 다른 요일에 비하여 많은 인원을 인바운드콜 업무에 할당시키고, 급하지 않은 다른 업무는 목요일이나 금요일과 같이 주 후반부에 처리하는 것이 좋은 전략임을 알 수 있다. 마찬가지로 각각의 요일마다 시간당 인바운드콜의 비율이 높은 피크 시간대에는 주로 인바운드콜 업무에 많은 인원을 배치하고, 인바운드콜의 비율이 낮은 시간대에 급하지 않은 다른 업무를 할당하는 것이 진료예약센터 운영자의 바람직한 전략이 될 수 있으며 구체적인 수치치는 <표 6>을 참고하면 된다.

<표 7>은 요일과 시간대별로 인바운드콜 업무에 할당할 최적의 인원수를 <표 6>과 같이 했을 때 결과로 얻게 되는 해당 포기율을 나타낸다. 목표 최대 허용 포기율을 나타냈던 <표 3>과 비교하여 보면 진료예약센터 전체적으로 한 주간 최대 허용 포기율이었던 $y = 7.5\%$ 미만인 $A^* = 6.13\%$ 로 만족시키고 있으며, 각 요일별로도 최대 허용 포기율이었던 $y^d = (10, 8, 7, 6, 5, 7)\%$ 를 $A^{d*} = (9.20, 4.95, 4.94, 4.88, 4.63, 5.93)\%$ 로 만족시키고 있으며, 각 시간대별로도 $A_t^{d*} \leq y_t^d$ 임을 확인할 수 있다.

<표 8>에서는 본 논문에서 소개된 최적화 모형을 적용하기 전과 후에 발생하는 포기율의 빈도를 각 포기율 구간별로 보여준다. 한 주간 동안 55개의 시간대 중에서 최적 인력 배치 이

전에는 포기율이 10% 미만인 시간대가 26개 (47%)에 불과하였으나, 최적화 적용 이후에는 53개 (97%)로 증가하였다. 또한, 이전에는 포기율이 25%를 초과하는 구간이 8개(15%)였으나, 적용 이후에는 단 한 개의 구간도 존재하지 않았다. 따라서, 최적 인력 배치를 통하여 단순히 한 주간 전체 포기율의 평균 수치만 줄어드는 것이 아니라, 각 시간대별로 포기율의 수치를 줄임으로써 고객에 대한 서비스 수준을 개선시키고 있음을 확인할 수 있다.

표 7. 최적 인력 배치 결과로 나오는 포기율(단위 : %)

A_t^d	월	화	수	목	금	토
8 : 00~9 : 00	5.80	4.31	4.88	3.14	1.11	3.87
9 : 00~10 : 00	6.98	4.64	4.73	4.79	4.59	5.66
10 : 00~11 : 00	8.01	4.51	4.92	4.90	4.71	6.26
11 : 00~12 : 00	6.40	4.48	4.41	4.76	4.73	5.16
12 : 00~13 : 00	12.85	5.94	6.17	5.81	6.38	8.17
13 : 00~14 : 00	20.38	6.79	5.76	6.06	6.00	
14 : 00~15 : 00	6.28	4.69	4.56	4.91	4.65	
15 : 00~16 : 00	6.37	4.52	4.93	4.67	4.23	
16 : 00~17 : 00	5.90	4.12	4.42	4.15	2.74	
17 : 00~18 : 00	5.53	5.88	5.04	5.08	5.81	
A^d	9.20	4.95	4.94	4.88	4.63	5.93
A	6.13					

표 8. 최적 인력 배치를 적용하기 전과 후의 포기율 발생 빈도 비교(단위 : 횟수)

포기율 구간	적용전	적용후
0~5%	14	29
5~10	12	24
10~15	9	1
15~20	8	0
20~25	4	1
25~30	4	0
30~35	1	0
35~40	1	0
40~45	0	0
45~50	0	0
50~55	2	0

표 9. 최적 인력 배치를 적용하기 전과 후 비용 비교(단위 : 원)

	적용 전	적용 후
인건비	8,219,527	12,935,200
포기콜 손실	12,332,385	5,066,554
총 비용	20,551,911	18,001,754
비용 절감		12.41%

<표 9>에서는 최적 인력 배치를 적용하기 전과 후 콜센터에서 발생하는 인건비와 포기콜의 손실, 그리고 이것을 모두 합한 총 비용을 비교하고 있다. 이를 통해 알 수 있는 것은 현재

까지 진료예약 콜센터 운영에 어느 정도 상담원의 수가 부족하였고, 효과적으로 각 업무에 인원을 배치하지 못하여 포기콜 때문에 발생하는 손실이 상당하였다는 사실이다.

최적화 모형을 적용하고 나면 현재보다 더 많은 인력을 인바운드콜 업무에 시간대 별로 배치함으로써 인건비는 어느 정도 상승하게 되지만, 포기콜 때문에 발생하는 손실의 감소폭이 상대적으로 더 크기 때문에, 12.41%의 총 비용이 절감되게 되며, 한 주간으로 볼 때 평균 15%에 육박하던 포기율이 6.13%로 감소하게 되었다. 즉, 총 비용도 감소시키면서, 포기율도 절반 이상 줄여서 고객 만족도 또한 증가시킬 수 있었다. 참고로, 총 비용 18,001,754원은 최적해에서 얻은 상담원 수를 정수로 올림하기 전에 얻은 총 비용 17,951,765원과 불과 0.28% 밖에 차이를 보이지 않은 것을 확인할 수 있다.

4. 시뮬레이션을 통한 검증

이 장에서는 이산 사건 시뮬레이션 (discrete event simulation)을 통해 제 3장에서 구한 해에 따라 인력을 배치했을 경우 얻어낸 기대 포기율이 실제로 나타나는가를 확인해 본다. 요일 및 시간대 별로 한 주간 동안 55개의 구간에 각 1,000개씩 총 55,000개의 데이터를 랜덤하게 발생시켜, 본 논문에서 제시한 모형에 따른 최적 인력 배치의 실용성 및 타당성을 확인하였다. <그림 2>는 이산 사건 시뮬레이션의 순서도를 나타내고 있다.

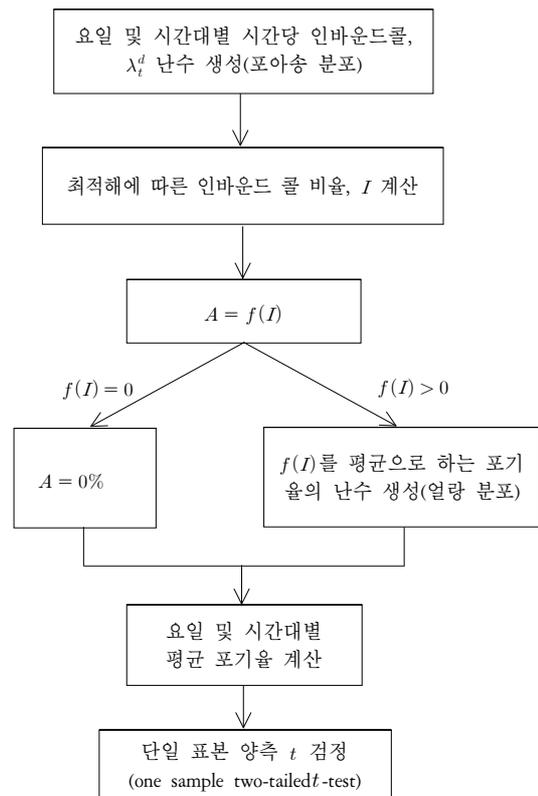


그림 2. 이산 사건 시뮬레이션의 순서도

먼저, 고객이 콜센터로 가는 전화는 먼저 걸려 온 다른 고객의 전화와 관계없이 랜덤하게 발생하고, 이산 사건이므로 포아송 프로세스(Poisson process)의 형태를 띄게 된다. 실제 데이터 확인 결과 각 요일 및 시간대에 따라 인바운드콜의 빈도는 서로 다르기 때문에 개별적인 평균값을 가지는 포아송 분포로 근사화하는 것이 가능하고, 이 때 평균은 <표 2>에서 제시한 값과 같다. 랜덤하게 전화가 걸려왔을 때, <표 6>과 같은 인력 배치에 따라 인바운드콜 비율 I 가 결정되고, 식 (5)에 따라 기대 포기율이 계산된다. 시간당 같은 인바운드콜 비율을 가지고 있다 해도 전화가 한꺼번에 많이 걸려오거나 받고 있는 전화가 길어져 대기 전화수가 많아지는 등 여러 가지 상황이 발생할 수 있으므로, 실제 발생하는 포기율은 인바운드콜 비율에 따른 값을 기준으로 약간의 변동성을 가질 수 있다. 포기율은 0% 보다 작을 수 없고, 실제 데이터를 통해 살펴본 결과 형상 파라미터(shape parameter)를 2로 가지는 일랑 분포(Erlang distribution)와 매우 유사한 형태를 띄고 있어 본 논문에서는 식 (5)에 따른 $f(I)$ 값을 평균으로 하고, 형상 파라미터가 2인 일랑 분포를 따르는 포기율의 난수를 발생시켰다. 이 때, $f(I)$ 값이 0%인 경우에는 그대로 0%의 값을 가지도록 하였고, 이와 같은 과정을 통해 얻은 평균 포기율은 <표 10>과 같이 나타났다. 예를 들어, 월요일 12:00~13:00시간대에서는 인바운드콜의 포기율이 평균적으로 12.91% 발생하였다.

표 10. 시뮬레이션을 통해 발생하는 포기율(단위 : %)

	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	5.88	4.42	4.98	3.20	1.14	3.69
9:00~10:00	6.89	4.62	4.79	4.98	4.80	5.66
10:00~11:00	7.83	4.64	4.99	4.78	4.68	6.51
11:00~12:00	6.31	4.25	4.39	4.83	4.80	5.14
12:00~13:00	12.91	5.92	5.97	5.82	6.38	8.53
13:00~14:00	20.31	6.90	5.56	5.95	5.96	
14:00~15:00	6.08	4.86	4.57	5.15	4.76	
15:00~16:00	6.50	4.49	4.85	4.69	4.32	
16:00~17:00	5.73	4.10	4.62	4.29	2.77	
17:00~18:00	5.38	6.08	5.25	5.02	5.91	
일간	9.13	4.98	4.95	4.92	4.69	6.04
주간	6.13					

난수로 발생된 포기율이 예측치와 같은 결과를 나타내는가는 단일 표본 양측 t 검정(two tailed t-test)를 통해 확인하였다. <표 11>은 단일 표본 양측 t 검정의 p-value를 나타내고 있다. 예를 들어, 월요일 12:00~13:00시간대에서 시뮬레이션을 통해 발생한 12.91%의 포기율이 본 논문의 해를 통해 예측된 <표 7>의 12.85%와 같은가에 대해 단일 표본 양측 t 검정을 하면 0.846의 p-value를 나타내게 된다. p-value가 0.10보다도 크기 때문에 10%의 유의수준에서도 시뮬레이션과 예측한 값이 충분히 같다고 판단할 수 있다. 화요일 11:00~12:00의 p-value는 0.016으로 0.01보다 큰 값을 나타내고 있으므로 1% 유의수준에

서 만족되고 있었다. 전체 55개의 검정에서 48개가 10%, 5개의 검정이 5%, 2개의 검정이 1%의 유의수준에서 만족되었다.

표 11. 양측 t 검정의 p-value 결과

	월	화	수	목	금	토
8:00~9:00	0.567*	0.312*	0.402*	0.456*	0.190*	0.065*
9:00~10:00	0.573*	0.865*	0.598*	0.086**	0.057**	0.999*
10:00~11:00	0.319*	0.208*	0.548*	0.295*	0.772*	0.087**
11:00~12:00	0.539*	0.016***	0.827*	0.523*	0.552*	0.896*
12:00~13:00	0.846*	0.874*	0.160*	0.952*	0.980*	0.073**
13:00~14:00	0.885*	0.486*	0.115*	0.452*	0.744*	
14:00~15:00	0.193*	0.124*	0.905*	0.042***	0.307*	
15:00~16:00	0.385*	0.739*	0.433*	0.828*	0.409*	
16:00~17:00	0.190*	0.807*	0.069**	0.154*	0.660*	
17:00~18:00	0.225*	0.184*	0.105*	0.614*	0.481*	

주) * 10% 유의수준, ** 5% 유의수준, *** 1% 유의수준.

이와 같은 시뮬레이션 결과를 통해 본 연구에서 제시한 모형의 해에 따라 각 시간대 별로 인력을 배치하면 모든 제약조건들을 만족시키면서 <표 7>에서 얻어낸 기대 포기율과 상당히 근사한 수준으로 실제 포기율이 발생하게 된다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 전통적인 대기행렬 이론을 적용하는 대신, 인바운드콜 업무 부하를 나타내는 지수로부터 직접적으로 평균 포기율을 얻어내는 방법을 사용하였으며, 콜센터에서 설정한 주간, 일간, 각 시간대 별 최대 허용가능 포기율 및 기타 제약조건식들을 만족시키면서 총 비용을 최소화하는 최적 인력을 산출하고 시간대별로 각 업무에 적정 인원을 배치하는 것에 대하여 비선형 정수계획 모형을 제시하였다. 그리고 콜센터의 데이터와 상담원들의 근무 패턴 및 기타 업무의 부하를 고려하여 개발된 모형에 적용함으로써 제시된 모형의 실용성을 보였다. 이산 사건 시뮬레이션을 통해 실제 진료예약 콜센터에 적용하여 얻어진 해에 따라 인력을 배치했을 때 발생하는 포기율을 구하고, 양측 t검정을 통해 일정 유의수준에서 모든 시간대의 기대 포기율이 해를 통해 얻어진 기대 포기율과 충분히 같다는 결과를 보였다. 사례에서 알 수 있듯이 운영 규모가 커지고 시스템이 복잡해질수록 과거의 관행이나 경험 또는 직관에 의하여 최적해를 구하는 것이 불가능하고, 비선형정수계획 모형 등 최적화 이론을 사용하여야 비용을 최소화하고 수익을 극대화하며 효율이 증가하고 고객만족도를 더 높일 수가 있게 될 것이다.

본 연구에서 소개된 방법들이 실제 진료예약 콜센터에 도입되어 사용될 때는, 최근 몇 개월 기간 동안의 데이터들이 주기적으로 업데이트 되어야 요일별, 시간대별 총 인바운드콜의

수 등 자료의 추세를 잘 반영하게 될 것이다. 최근 전산 시스템의 기술로는 매시간마다 자동적으로 모든 데이터를 저장하고 이것을 가지고 일주일마다 또는 매달마다 주기적으로 데이터를 수리계획 모형에 입력하는 것은 전혀 어렵지 않다.

본 연구에서는 미리 정해진 최대 허용 포기율을 사용하였지만, 최대 허용 포기율의 최적값을 찾아 내는 것 자체도 흥미로운 추후 연구 주제가 될 수 있다. 또한 정해진 업무 시간대 내에서 최적의 인력 배치를 결정하는 문제가 아니라, 근무 시간대 자체를 더 확장하는 등 최적의 근무 시간대를 정하는 문제도 흥미로운 향후 연구의 방향이 될 수 있다.

또한 본 연구에서 분석한 진료예약 콜센터는 풀타임 상담원을 고용하는 경우만 고려하였지만, 파트타임 상담원을 고용하는 경우를 고려할 수도 있을 것이다. 그렇게 할 경우에는 경제적으로 비용을 절감할 수는 있겠지만 발생하게 될 여러 장단점 또한 면밀히 조사되어야 할 것이다. 또한 본 논문에서는 콜센터에서 가장 중요한 인바운드콜을 처리하는 업무와 기타 업무로 나누어 N_t^{dr} 와 S_t^{dr} 를 계산하였는데, 업무를 더 세분화하여 각 업무에 어떻게 적정 인원을 배치하는가 하는 것 또한 흥미로운 연구 주제가 될 것이다. 또한, 포기율을 0%로 가져갈 수 없다면 놓치게 되는 고객의 전화에 대해 콜백(call-back) 시스템을 어떻게 도입하는 것이 고객만족과 병원의 수익을 증가시킬 수 있는지 연구할 수도 있을 것이다. 마지막으로, 본 논문에서 사용한 방법론과 전통적인 대기행렬이론을 사용하는 것을 비교하는 연구도 흥미로운 주제가 될 것이다.

참고문헌

[특집기사] 콜센터의 화려한 변신(2006), 『매일경제』.

Aguir, S., Karaesmen, F., Aksin, O. Z., and Chauvet, F. (2004), The impact of retrials on call center performance. *OR Spectrum*, 26, 353-376.
 Aksin, O. Z. and Harker, P. T. (2001), Modeling a phone center : Analysis of a multichannel, multiresource processor shared loss system, *Management Science*, 47(2), 324-336.
 Anderson, D., Sweeney, D., and Williams, T. (2008), *Statistics for business and economics*, 10th Edition, Thomson South-Western.
 Artalejo, J. R., Economou, A., and Gomez-Corral, A. (2007), Applications of maximum queue lengths to call center management, *Computers and Operations*

Research, 34, 983-996.
 Borst, S., Mandelbaum, A., and Reiman, M. I. (2004), Dimensioning Large Call Center, *Operations Research*, *Operations Research*, 52(1), 17-34.
 Brown, L., Gans, N., Mandelbaum, A., Sakov, A., Shen H., Zeltyn, S., and Zhao, L. (2005), Statistical Analysis of a Telephone Call Center : A Queueing-Science Perspective, *Journal of the American Statistical Association*, 100(469), 36-50.
 Cachon, G. and Terwiesch, C. (2006), *Matching Supply with Demand : An Introduction to Operations Management*. McGraw-Hill, New York.
 Cheong, K. J., Kim, J. J., Ryu, I., So, S. H., and Park, D. (2004), A Study on the Factors Affecting the Performance of Call Center, *The journal of information strategy*, 7(2), 101-111.
 Gans, N., Koole, G., and Mandelbaum, A. (2003), Telephone call centers : tutorial, review and research prospects, *Manufacturing and Service Operations Management*, 5, 79-141.
 Garnett, O., Mandelbaum, A., and Reiman, M. (2002), Designing a call center with impatient customers, *Manufacturing and Service Operation Management*, 4(3), 208-227.
 Hampshire, R. C. and Massey, W. A. (2005), Variational Optimization for Call Center Staffing, *TAPIA 2005*, 19-22.
 Hillier, F. and Lieberman, G. (2010), *Introduction to Operations Research*, 9th Edition, McGraw-Hill, 588.
 Koole, G. and Mandelbaum, A. (2002), Queueing Models of Call Centers : An Introduction, *Annals of Operations Research*, 113, 41-59.
 Mariotto, A. (2004), Reminder calls help waiting-list' management and fairness, *The Internet Journal of Healthcare Administration*, 2(1).
 Mehrotra, V. and Fama, J. (2003), Call center simulation modeling : Methods, Challenges, and Opportunities, *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 135-143.
 Nash, S. (1998), Nonlinear programming-1998 nonlinear programming software survey, *ORMS Today*, 25.
 Pichitlamken, J. Deslauriers, A., L'Ecuyer, P., and Avramidis, A. N. (2003), Modeling and Simulation of a telephone call center, *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 1805-1812.
 Seltman, K. (2005), Beyond the call, *Marketing Health Services*, 25(4), 44.
 Wallace, R. B. and Whitt, W. (2005), A Staffing Algorithm for Call Center with Skill-Based Routing, *Manufacturing and Service Operations Management*, 7(4), 276-294.
 Whitt, W. (1999), Dynamic Staffing in a Telephone Call Center Aiming to Immediately Answer All Calls, *Operations Research letters*, 24, 205-212.
 Whitt, W. (2006), The Impact of Increased Employee Retention on Performance in a Customer Contact Center, *Manufacturing and Service Operations Management*, 8(3), 235-252.
 Whitt, W. (2006), Staffing a call center with uncertain arrival rate and absenteeism, *Production and Operations Management*, 15(1), 88-102.



김 성 문
 연세대학교 기계설계공학과 학사
 University of Michigan, Industrial and Operations
 Engineering 석사, 박사
 현재 : 연세대학교 경영학과 부교수
 관심분야 : 경영과학, 최적화, 큐잉이론,
 의료경영, 금융공학



나 정 은
 연세대학교 컴퓨터과학 학사, 석사
 현재 : 연세대학교 컴퓨터산업시스템공학
 박사과정
 연세대학교 학부대학 공학계열
 학사지도교수
 관심분야 : 최적화, 비즈니스 프로세스
 리엔지니어링, 공학교육



김 수 미
 연세대학교 경영학과 학사
 연세대학교 경영학과 Operations Research 석사
 현재 : 연세대학교 경영학과 박사과정
 관심분야 : 대기 시스템, 의료경영,
 시뮬레이션, Stochastic process