

진료예약콜센터의 인력 배치 최적화 연구

The Optimal Staffing Problem at the Reservation Call Center in the Hospital

김성문, 나정은

연세대학교 경영학과 kimsm@yonsei.ac.kr

연세대학교 컴퓨터과학과 jenah@yonsei.ac.kr

Abstract

Call center staffing problems have often relied upon queueing models, which are traditionally used to compute average call waiting time. However, the relationship between the in-bound call volume and call abandon rate is not directly explained even with the complex queueing formula while that relationship is a major interest to the hospital due to profitability. In this paper we provide a novel approach for the call center staffing problem by incorporating the relationship between the in-bound call volume and call abandon rate with a nonlinear integer programming, rather than using the traditional queueing model. We perform numerical analyses with actual data obtained from a reservation call center in a hospital.

I. 서론

종합병원의 진료예약콜센터에 상담원들의 업무는 고객들이 걸어오는 전화 (인바운드콜)에 응답해야 하는 일, 고객들에게 전화를 걸어 예약 및 변경을 상기시켜주는 일 (아웃바운드콜), 서류 또는 전산 작업 등으로 나뉜다. 이 중에서 아웃바운드콜과 서류 및 전산

작업은 상담원이 업무를 할 시간대를 선정할 수 있는 반면, 인바운드콜은 고객이 전화를 걸어왔을 때 신속하게 응답하지 않으면 고객을 놓치게 되고, 이것이 병원의 수익 및 고객만족도와 직결된다. 그렇다면, 콜센터의 운영에 있어 중요한 의사결정에 관한 질문들은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 총 몇 명의 상담원을 확보해야 하는가?
- 매일 각 시간대별로 총 상담원 중 몇 명을 어떤 업무에 할당해야 하는가?

인바운드콜의 수요가 높은 피크 시간대에는 콜센터의 상담원 전원이 인바운드콜 업무에만 매달려도 근무 인원 대비 수요가 높아 통화 대기시간이 길어지고 포기율이 높을 수 있으며, 인바운드콜 수요가 높지 않은 시간대에는 총 상담원의 일부분을 다른 업무에 배치하고 일부의 상담원만 인바운드콜을 처리해도 포기율이 거의 없을 수도 있다. 따라서, 효과적인 콜센터의 운영은 단순히 총 상담원을 몇 명 확보하느냐를 넘어서, 요일과 시간대에 따라 고객의 수요에 맞춰 몇 명을 어떠한 업무에 스케줄링하는가로 귀결될 수 있다. 적절한 상담원 수의 확보와 적합한 업무 배치는 인건비의 절감과 효율의 증대, 병원의 수익 증가에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다.

콜센터는 운영, 마케팅, 인적자원 등이 서로 밀접히 관련되어 있는 조직이다. 인바운드 콜을 시도한 고객은 콜센터의 상황에 따라 서비스를 받거나, 대기 중이거나, 대기하다가 끊거나, 또는 다시 걸 수도 있는데, 이러한 고객 행동이 콜 센터의 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 지속되고 있다. [9,12]에서 Koogle, Mandelbaum, Gans는 인바운드 콜을 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 대기하다 포기하는 경우를 설명하는 M/M/s+M 대기행렬 으로 정의한 모형들을 소개하고 있다. 또한 Brown et al.[8]에서는 대기행렬모형으로 정의한 콜센터를 도착된 콜의 분포, 고객 성향, 제공되는 서비스 시간 등을 통계적인 기법으로 분석할 수 있음을 제안하고 있다.

응대하는 상담원이 한정적인 경우, 인바운드콜 도착률을 예측하기 어려운 상황에서 대기행렬과 포기콜의 발생은 불가피하다. Seltman[16]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. [4,5,10]에서는 포기콜과

대기행렬에도 들어가지 못한 블로킹 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.[4]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.[6]은 콜센터 상담인력의 수와 대기자 비율이 대기행렬의 길이를 결정하는 데 영향력이 있음을 분석하고 콜센터 관리 차원의 주요한 수치로 활용하도록 제안했다.

Borst et al.[7]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 상담 인원수와 스케줄을 최적화하려는 연구를 시도하였다[11]. 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, [3]에서는 콜센터 상황을 분석하여 적절한 수준의 공급능력을 정하고 변동성을 감소시킬 기회를 찾아 대기시간을 감소하는 방법을 소개하고 있다. Ward[20]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 인바운드 콜에 응대하기 위해 인력을 배치하는 동적인력배치(dynamic staffing)에 대한 연구가 있었는데[18], 이는 인바운드콜을 응대하는 상담원이 정해져 있는 상황에서는 구현이 매우 어렵다. 그렇지만, 인바운드 콜 양이 많은 경우의 응대를 위해 상담인력을 충분히 배치한다면, 인바운드콜 도착율이 낮은 경우, 다른 작업을 하게 하여 유연한 인력배치를 가능토록 할 수 있다. Mariotto[13]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 적은 경우 아웃바운드콜의 시도처럼 다른 업무를 할당하는 것도 가능하다. 본 연구에서도 인바운드콜을 응대하는 적정 인력 배치를 우선으로 하고, 다른 시간대에 아웃바운드콜이나 또는 전산처리 업무 등 다른 업무를 처리 할 수 있도록 설계하였다. 하지만, 처리할 업무량에 근거하지 않고 무조건 상담인력을 증가한다는 것은 비용의 낭비를 초래한다.

[2]에서는 고객응대업무가 매우 힘든 업무여서 상담원이 하루 근무 시간 내내 인바운드 콜을 응대하는 것이 불가능하다는

현장 경험내용을 콜센터 관련 특집기사로 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[1]. Ward[19]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.

[14]에서는 최근 콜 센터의 변화되는 환경(데스크 탑 컴퓨팅, 아웃소싱, 채널 다양화, 상담원 스킬에 따른 통화 전환 등)을 고려하여 시뮬레이션 모형으로 표현하였으며, [15]에서도 아웃바운드콜 시행을 포함한 콜센터를 시뮬레이션 모형으로 개발하여 인력효율측면, 포기율, 아웃바운드 콜 비율 등의 성능측정을 하였다. 또한 콜 센터에서는 다양한 형태의 전화를 받지만, 모든 상담원이 항상 정확한 응답을 할 수 있는 것은 아니다. Wallace and Ward[17]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.

본 논문에서는 변동성을 감소시키는 요인을 찾기 위해 최근 콜센터 운영 자료를 근거로 하여 인바운드콜 도착 불확실성의

요인을 추정 보완하고, 상담원의 근무 패턴을 관찰하여 실제 근무 가능한 변수로 설정한 후, 포기율 감소뿐만 아니라 인건비와 기회비용의 손실의 합을 최소화하는 최적 인력을 산출하여 요일과 시간대별로 각 업무에 적정인원을 배치하는 것을 목표로 한다. 2장에서는 인바운드콜 비율과 포기율과의 관계를 회기분석법을 사용하여 찾아내는 방법과 목표 최대허용 포기율이 설정 되었을 때, 인바운드 콜을 처리하는데 필요한 인건비와 기회비용의 손실을 최소화하는 최적인력 결정 모형을 설계한다. 3장에서는 실제 운영 중인 콜센터 자료를 사용하여 2장에서 설계한 모형에 적용하여 최적인력을 찾아내 보고, 4장은 본 연구에 대한 결론과 향후 관련된 연구범위에 대해 논의한다.

II. 문제정의 및 모형

인바운드콜에 대한 응답이 늦어져 대기 시간이 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 I 를 정의하자.

$$I = \text{인바운드콜 업무중인 상담원 한 명당 시간당 걸려오는 인바운드콜의 수} \quad (2.1)$$

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. (2.1)

에서 정의된 의미에 맞게 I 를 세부적으로 분석하기 위해 다음 변수들을 도입하여 다시 표현하면 다음과 같다.

$$I = \frac{\lambda}{e \cdot n} \quad (2.2)$$

여기서

λ = 콜센터에 걸려오는 시간당 총 인바운드콜의 수,

n = 총 상담원의 수,

e = 매시간 총 상담원 중 인바운드콜 업무에 할당할 인원의 비율

로 정의한다. 예를 들어, 어떤 특정일 12:00-13:00 시간대에 콜센터로 480통의 인바운드콜이 걸려왔고, 위 시간대에는 총 상담원 24명 중 절반인 12명이 점심식사로 자리를 비웠고 4명은 서류 및 전산 작업 중이고 나머지 8명이 인바운드콜 업무에 할당되어 있다면

$$I = \frac{\lambda}{e \cdot n} = \frac{480}{0.333 \times 24} = 60$$

이 되고, 이 의미는 위 시간대에 실제 인바운드콜 업무를 하고 있는 상담원 한 명당 시간당 60통의 비율로 인바운드콜이 걸려오고 있음을 뜻한다. 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.

이제 인바운드콜 비율 I 와 포기율 A 의 상관관계를 찾아보자. 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, 회기분석과 같은

통계적 기법에 의해 (I, A) 의 상관 관계를 얻어 낼 수 있다. 즉, 포기율 A 와 인바운드콜 비율 I 의 관계가 어떠한 함수 $f(\cdot)$ 의 형태로 표현된다고 한다면

$$A = f(I) = f\left(\frac{\lambda}{e \cdot n}\right) \quad (2.3)$$

과 같이 나타낼 수 있다.

이제 (I, A) 의 관계를 (2.3)식에서 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 $d \in D_C \{\text{월, 화, 수, 목, 금, 토, 일}\}$ 와 $t \in T_C \{0:00-1:00, 1:00-2:00, \dots, 23:00-24:00\}$ 의 부분집합을 정의하자. 그리고, d 와 t 에 대하여 최대 허용 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. (예를 들어, $d=\text{월요일}$, $t=12:00-13:00$ 에 대하여 최대 허용 포기율은 $A_{12:00-13:00}^{\text{월}}=20\%$ 와 같이 정하고, 과거 자료를 참조하여 평균을 내보니 $\lambda_{12:00-13:00}^{\text{월}}=430$ 이 걸려올 것으로 예상되고, 이 시간대에는 점심 식사 교대를 고려하여 총 근무인원의 절반은 식사로 인해 자리를 비워서 나머지 절반만 인바운드콜 업무를 담당한다면 $e_{12:00-13:00}^{\text{월}}=0.5$ 이며, 주어진 목표 포기율을 달성하기 위해 필요한 총 상담원의 수는 $n^{\text{월}}=30$ 명과 같다.) 여기서 과거의 데이터 등에 기반하여 평균값 또는 시계열 예측 등의 방법을 사용하여 예상할 수 있는 λ_t^d 값은 진료예약콜센터 내부에서 통제할 수 없는 값이다. 최대 허용 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 (2.3)식을 사용하여 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$N_t^d \equiv e_t^d \cdot n^d = \frac{\lambda_t^d}{f^{-1}(A_t^d)} \quad (2.4)$$

(2.4)식에서 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. 예를 들어, 상대적으로 근무중인 인원이 적은 점심식사 교대 시간대에도 포기율이 어떤 최대 허용 수치를 넘지 않기를 바란다면, 현재의 식사 교대 시스템의 조정 없이, 즉 e_t^d 값을 유지하면서 총 상담원의 수 n^d 를 증가시키는 방법이 있을 수 있고, 현재의 식사 교대 시스템을 변경하여 e_t^d 값을 조정 가능한 상한값과 하한값의 범위 안에서 증가시킴으로써 총 상담원의 수 n^d 값을 증가시킬 필요가 없을 수도 있다.

반면에 e_t^d 는 정해진 상수이며 n^d 만의 사결정 변수인 경우가 있는데, 예를 들어, 점심 시간대에 현재의 식사 교대 시스템을 변경할 수 없다던가, 어떤 시간대에는 전원 인바운드콜을 담당해야 한다던가 등으로 상담원들의 업무 스타일이 정해져 있어서 이것을 변경시키는 것이 어렵다면 과거 자료에서 얻어진 평균값으로부터 e_t^d 값을 결정하여 주어진 상수로 취급하며 (2.4)식에서 d 에 대하여 필요한 총 적정 상담원의 수 n^d 를 구할 수 있다.

지금까지는 목표로 하는 최대 허용 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 최대 허용 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 쉽지 않은 않다. 예를 들면, 어떤 병원에서 모든

요일과 시간을 고려한 진료예약콜센터의 전체 평균 포기율을 5% 미만으로 가져가기를 원한다고 가정하자. 이러한 목표를 달성하기 위하여 요일별로 전체 근무인원의 수를 변경시키는 것이 어렵다면 매일 5% 목표 포기율을 설정하기 보다, 인바운드콜의 수가 높은 월요일은 포기율을 7%로 하고, 월요일에 비해 인바운드콜의 수가 훨씬 낮은 금요일은 3%로 설정함으로써 모든 요일을 고려한 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 목표치를 지정할 수 있으며, 심지어 점심 시간대에 20%의 포기율을 가져간다 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 최적의 총 상담원 수와 인바운드콜에 할당할 상담원의 수를 결정하기 위해 다음과 같은 비선형정수계획 모형(nonlinear integer programming model)을 고려한다.

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

$$I_t^d = \frac{\lambda_t^d}{e_t^d \cdot n^d} \quad \forall d, t$$

$$l_t^d \leq e_t^d \leq u_t^d \quad \forall d, t$$

$$L^d \leq n^d \leq U^d \quad \text{integer} \quad \forall d$$

여기서

y_t^d = 각각의 t 와 d 에 대한 최대 허용 포기율,

y^d = 각각의 d 에 대한 최대 허용 포기율,

y = 매 주당 최대 허용 포기율,

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

$L^d (U^d)$ = 각각의 d 에 대해 n^d 의 하한값 (상한값),

c_n = 상담원 한 명당 시간당 인건비

c_a = 포기콜당 초래되는 기회비용의 손실

를 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, 첫번째, 두번째, 세번째 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 일평균 포기율의 값이 몇 % 미만이어야 함을 규정할 수 있으며, 요일별로 가중평균 방식을 적용하여 매 주마다 전체적인 최대 허용 포기율을 설정할 수 있다. 마지막에서 두번째 제약조건식은 e_t^d 의 값이 근무 패턴을 고려하여 조정되더라도 상한과 하한값 사이에서 정해져야 한다는 의미인데, 예를 들면 점심 식사 교대 시스템을 변경시키더라도 고객만족

을 위해서 최소한 총 상담원의 30%는 인바운드콜 업무를 맡아야 한다는 정책을 세울 수 있고, 또한 상담원들도 점심 식사 교대를 해야 하기 때문에 총 인원의 최대 70% 이상은 인바운드콜 업무를 볼 수가 없는 경우가 될 수 있다.

위 제약조건식에 주어지는 최대 허용 포기율을 달성하는데 있어 인바운드콜을 담당하는 상담원의 수를 필요 이상으로 증가시키게 되면 포기율은 줄어들게 되어 목표 포기율을 달성하고 이로 인해 병원의 수익으로 연결되는 기회비용의 손실 또한 줄어들게 되지만, 아웃바운드콜 등 다른 업무를 처리할 수 있는 인력을 인바운드콜 업무에만 집중시킴으로써 효율의 저하와 인건비를 낭비할 수 있다. 반면 상담원의 수를 필요한 수준만큼 증가시키지 않게 되면 이로 인해 인건비의 절약을 가져올 수는 있지만 포기율이 늘어나게 되고 이로 인해 병원의 수익으로 연결될 기회비용의 손실이 커지게 된다. 따라서, 인바운드콜을 처리하는데 있어 총 비용의 두 가지 요소, 즉, 인건비와 기회비용의 손실의 합을 최소화하는 최적 인력 확보 n^{**} 와 배치 e_i^{**} 를 결정하는 것이 궁극적인 목표이다.

III. 응용 및 수치 예제

이번 장에서는 이전 장에서 언급된 방법과 절차가 실제 데이터가 주어질 때 어떻게 적용되는가를 보여주하고자 한다. 본 논문에서 분석 모형으로 설정한 콜센터는 한 종합병원의 진료예약콜센터이다. 이 종합병원은 50개 이상의 진료과를 비롯하여 전문병원, 전문진료센터, 응급센터, 건강검진센터 등을 갖춘 대형 종합병원이며, 2005년 이후 진료예약콜센터를 설립하고 모든 진료예약은 진료예약센터를 통해 이뤄지도록 했는데, 2006년에는 일평

균 약 3,000통의 인바운드콜이 콜센터를 통해 걸려오고 있으며, 콜센터로 걸려오는 인바운드콜의 수요는 월별 점차적으로 증가하고 있는 추세이다. 월요일에서 금요일까지 24명의 상담원은 8:00-17:00와 9:00-18:00에 전체 인원의 2/3와 1/3씩 두 그룹으로 나뉘어 출퇴근 시간에 따라 근무하며, 토요일에는 격주로 8:00-13:00 동안 근무한다.

인바운드콜의 수요는 점진적으로 증가하고 있지만 상담원 수가 증가하지 않았고, 피크 시간대에는 진료예약센터의 상담원의 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 포기율의 높은 수치는 고객들에게 만족을 주지 못할 뿐만 아니라 병원의 재정에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 포기율을 줄이기 위해 상담원의 수를 증가시킨다면 포기율과 통화 대기시간을 줄이는데 도움이 되겠지만, 요구되는 서비스 레벨보다 필요이상의 상담원을 고용하게 된다면 인력운영 비용의 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 본 연구에서는 이전 장에서 소개된 방법론을 사용하여 콜센터로의 통화 대기시간을 단축하고 포기율을 감소시키기 위한 적정 상담원의 수를 제시하여 비용을 최소화하며, 동시에 고객 만족도와 병원의 수익을 증대시키는 방법을 모색하려 한다.

표1에서와 같이 석 달의 기간 동안 매 시간당 (λ, n, e, A) 의 데이터가 주어졌을 때 I 와 A 의 관계를 도출하는 방법을 보자. 예를 들어, 1월 2일 9:00-10:00 기간에는 607통의 인바

운드콜이 걸려왔으며 그 날 총 상담원수인 24명의 57%인 약 14명이 인바운드콜 업무를 처리하고 있었으며 (2.2)식을 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 석 달 동안 측정하여 그림1과 같이 그래프에 데이터 포인트 (I, A)를 나타내고, 회기분석을 통하여 두 변수의 상관관계를 구한다.

표 1. 입력 데이터

		λ	e	n	I	A
1월2일 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
1월3일 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
...
4월1일 토	8:00-9:00	71	0.48	11	13.6	1.4
	9:00-10:00	189	0.57	11	30.3	5.8

	12:00-13:00	107	0.28	11	34.3	38.3

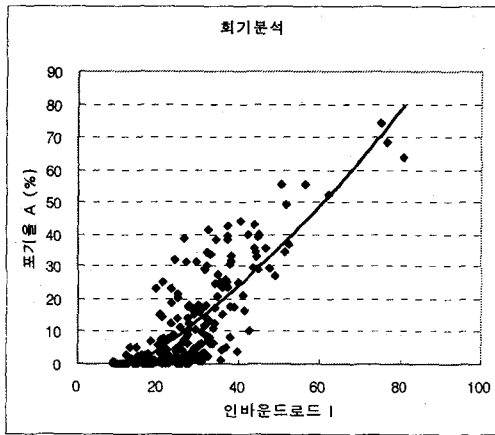


그림 1. 인바운드콜 비율과 포기율과의 관계

그림1에서 I 와 A 의 상관관계를 2차 최소자승법 (2nd degree least square method) 을 이

용하여 다음과 같이 구한다.

$$A = f(I) = \begin{cases} 0 & \text{if } I < 15 \\ 0.00006I^2 + 0.006419I - 0.10963 & \text{if } I \geq 15 \end{cases} \quad (3.1)$$

이제 요일 d 와 시간 t 에 대하여 목표로 하는 최대 허용 포기율이 주어질 때 이를 만족시키는 적정 상담원을 산출하는 방법을 분석하여 보자. 먼저 표2와 같이 시간당 인바운드콜의 예측값 λ_t^d 가 주어진다고 가정하자. λ_t^d 값은 표1에서와 같이 일정 기간동안 측정된 λ 값에 기반하여 요일과 시간대별로 평균을 내거나 시계열 예측 등의 방법을 사용하여 얻어 낼 수 있다. 표2에 주어진 λ_t^d 값의 경향은 많은 종합병원의 콜센터에서 볼 수 있는 전형적인 모습으로서 업무를 하지 않는 일요일 다음인 월요일, 또는 공휴일 다음날에 인바운드콜의 수요가 가장 많고 금요일로 갈수록 점차 수치가 떨어짐을 관찰할 수 있다. 토요일에는 인바운드콜의 수요가 상대적으로 낮지만 진료 예약콜센터의 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.

표 2. 시간당 인바운드콜의 기대값, 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	263	206	
16:00-17:00	270	220	258	221	182	
17:00-18:00	193	144	135	119	89	

진료예약콜센터의 책임자가 요일별 인바운드콜의 수치를 고려하여 표3과 같은 목표 포기율을 설정하였다고 하자. 즉, 모든 요일과 시간대를 고려한 진료예약콜센터의 인바운드콜 중 전체 평균 포기율의 상한선을 5%로 설정하기를 원하고, 이를 달성하기 위하여 과거 자료를 바탕으로 한 요일별 인바운드콜의 비율을 고려하여 월요일부터 토요일까지 각 요일의 목표 포기율의 상한선을 (10, 6, 5, 4, 3, 7)%로 설정하였다. 그리고, 각 요일에 대하여 시간대별로 인바운드콜의 평균 수치와 식사교대 등의 근무 패턴을 고려하여 최대 허용 포기율의 상한선을 설정하는데, 예를 들면, 수요일에는 점심식사 교대시간에는 20%, 17:00-18:00에는 10%, 나머지 시간대에는 모두 3%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	8	3	3	3	3	5
9:00-10:00	8	3	3	3	3	5
10:00-11:00	8	3	3	3	3	5
11:00-12:00	8	3	3	3	3	5
12:00-13:00	25	20	20	20	20	10
13:00-14:00	25	20	20	20	20	
14:00-15:00	7	3	3	3	3	
15:00-16:00	7	3	3	3	3	
16:00-17:00	7	3	3	3	3	
17:00-18:00	15	10	10	10	10	
y^d	10	6	5	4	3	7
y	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 표4와 같이 주어진다고 하자. 표4와 같은 e_t^d 의 상한값과 하한값은 진료예약콜센터의 책임자와 논의한 후 상담원들의 업무와 근무 패턴을 분석한 후 정할 수 있는데, 예를 들면 표4에서 d =월요일,

t =12:00-13:00에는 점심식사 교대로 인하여 최대한 전체 근무인원의 50% 이상을 인바운드콜 업무에 할당할 수 없으며, 고객에 대한 최소한의 서비스 수준을 유지하기 위하여 최소한 전체 근무인원의 20%는 인바운드콜 업무를 담당해야만 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	

표5는 월요일부터 금요일까지 각 요일별로 고용할 수 있는 총 근무인원의 상한값 U^d 와 하한값 L^d 를 보여준다. 진료예약콜센터의 책임자와 논의한 결과 현재 총 상담원의 수인 24명을 노조와 노동법에 의해 더 줄일 수가 없기 때문에 이를 각 요일에 대한 하한값으로 설정했으며, 콜센터의 현재 공간상의 문제와 인건비에 대한 예산 등을 고려해 총 상담원 수의 상한선을 30명으로 설정하였다. 토요일에는 따로 총 상담원 수의 하한값과 상한값을 주는 대신에, 월요일부터 금요일까지 최적 총 상담원 수 중에서 최대값을 가지는

상담원 수의 절반을 설정함으로써 격주 근무를 시행할 수 있다.

표 5. n^d 의 상한값과 하한값

	월	화	수	목	금
L^d	24	24	24	24	24
U^d	30	30	30	30	30

$$n^{\text{토}} = \frac{1}{2} \cdot \max_{d \in \{\text{월, 화, 수, 목, 금}\}} n^d$$

총 비용의 두 가지 요소인 인건비와 기회비용 손실을 보자. 현재 진료예약콜센터에서는 의료상담과 적절한 진료과 및 의사를 환자들에게 연결시켜줘야 하는 업무의 전문성 때문에 파트타임으로 상담원을 고려하기 보다는 풀타임으로 상담원을 고용하기 원하며, 현재 임금과 부가급부를 모두 합쳐 시간당으로 계산하여 보면 $c_n = W15,200$ 에 해당한다고 하자. 또한, 인바운드콜 중에서 상담원과 연결된 통화는 예약과 관련되어 병원에 수익을 안겨주는 것이 있고, 순수하게 상담만 하는 등 병원의 수익에 직접적으로 연결되지 않는 것들도 있는데, 이러한 것들의 비율을 계산하여 놓치게 되는 인바운드콜 한 통당 기회비용의 손실을 계산하여 $c_a = W5,500$ 에 해당한다고 하자. 이러한 시간당 임금 및 기회비용 손실은 진료예약콜센터 및 병원마다 다른 값을 가지는 것이 일반적이다.

지금까지 주어진 모든 매개변수를 가지고 II장에서 소개된 비선형 정수계획 모형에 입력하고 최적해를 찾으면 표6과 같은 요일별 최적 총 근무 인원수를 얻게 된다. 표6에서 월요일부터 금요일까지 중 최대값은 30이며, 따라서 진료예약콜센터에서는 총 $N=30$ 명의 풀타임 상담원을 확보한다.

$$N \equiv \max_{d \in \{\text{월, 화, 수, 목, 금}\}} n^d = 30$$

그리고, 토요일에는 격주로 근무하여 30명의 절반인 15명씩 매주 근무한다. 이와 같이 30명의 상담원을 고용하는 것으로 결정함으로써 수, 목, 금요일에는 표6에서 나타낸 필요 근무 인원수보다 2, 3, 4명의 여유 인력이 생기게 된다.

표 6. 요일별 최적 총 근무 인원수

	월	화	수	목	금	토
n^{d*}	30	30	28	27	26	15

이제 총 30명의 상담원을 진료예약콜센터에 고용하기로 결정하였을 때, 요일과 시간대별로 몇 명의 인원을 인바운드콜 업무와 다른 업무에 배치하는 것이 최적인지를 찾아내는 방법을 보자. 앞에서 소개된 비선형 정수계획 모형을 사용하여 얻은 최적의 e_i^{d*} 값과 표6에 나온 n^{d*} 값을 사용하여 인바운드콜 업무에 할당할 최적의 상담원 수 $N_i^{d*} = e_i^{d*} \cdot n^{d*}$ 를 표7과 같이 얻어 낸다. 그리고, 월요일부터 금요일까지는 총 30명의 상담원이 근무하게 되는데, 2/3인 20명은 8:00-17:00동안에 근무하고, 1/3인 10명은 9:00-18:00에 맞춰 근무하게 된다. 토요일에는 총 30명의 1/2인 15명이 격주로 근무하게 되는데, 2/3인 10명은 8:00-12:00동안에 근무하고, 1/3인 5명은 9:00-13:00에 맞춰 일한다. 이제 월요일부터 토요일까지 각 시간대별로 근무하게 되는 총 인원수로부터 표7의 N_i^{d*} 를 차감함으로써 아웃바운드콜 업무와 서류 및 전산 작업 등에 배치할 수 있는 인원수인 S_i^{d*} 를 표7의 아래부분에서와 같이 얻어낸다. 예를 들면, 최대 허용 포기율을 달성하기 위하여 월요일 14:00-15:00에는 총 근무인원 30명 중에서 24명을

인바운드콜 업무에 배치해야 하며 6명의 인원을 기타 업무에 할당할 수 있다.

표7에서 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 수치는 표7을 참고하면 된다.

표 7. 최적 인력 배치

N_t^{d*}	월	화	수	목	금	토
8:00-9:00	14	10	10	9	8	5
9:00-10:00	27	24	22	18	18	14
10:00-11:00	27	24	21	18	18	14
11:00-12:00	27	19	19	16	16	11
12:00-13:00	15	15	13	12	12	5
13:00-14:00	15	15	14	14	13	
14:00-15:00	24	15	14	14	12	
15:00-16:00	18	15	15	15	12	
16:00-17:00	16	13	15	12	11	
17:00-18:00	10	8	8	7	5	
S_t^{d*}	월	화	수	목	금	토
8:00-9:00	6	10	10	11	12	5
9:00-10:00	3	6	8	12	12	1
10:00-11:00	3	6	9	12	12	1
11:00-12:00	3	11	11	14	14	4
12:00-13:00	15	15	17	18	18	0
13:00-14:00	15	15	16	16	17	
14:00-15:00	6	15	16	16	18	
15:00-16:00	12	15	15	15	18	
16:00-17:00	14	17	15	18	19	
17:00-18:00	0	2	2	3	5	

표8은 비선형 정수계획을 사용하여 요일과 시간대별로 인바운드콜 업무에 할당할 최적의 인원수 N_t^{d*} 로 인해 총비용을 최소화하는 해당 결과 포기율을 나타낸다. 목표 최대

허용 포기율을 나타냈던 표3과 비교하여 보면 진료예약센터 전체적으로 최대 허용 포기율이었던 $y=5\%$ 를 최적 상담원 배치로 인해 $A^*=4.1\%$ 로 만족시키고 있으며, 각 요일별로도 최대 허용 포기율이었던 $y^d=(10, 6, 5, 4, 3, 7)\%$ 를 $A^{d*}=(7.5, 2.8, 2.6, 2.5, 2.6)\%$ 로 만족시키고 있으며, 각 시간대별로도 $A_t^{d*} \leq y_t^d$ 임을 확인할 수 있다.

표 8. 최적 인력 배치 결과로 나오는 포기율 (단위: %)

A_t^{d*}	월	화	수	목	금	토
8:00-9:00	2.5	3.0	2.5	2.4	0.2	1.8
9:00-10:00	5.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.8
10:00-11:00	6.2	2.5	2.5	2.5	2.5	4.7
11:00-12:00	4.3	2.5	2.5	2.5	3.0	2.5
12:00-13:00	12.3	2.5	2.5	2.5	2.5	8.8
13:00-14:00	22.9	4.6	3.4	2.5	3.8	
14:00-15:00	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	
15:00-16:00	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
16:00-17:00	2.5	2.5	2.5	3.0	2.1	
17:00-18:00	3.6	2.5	2.5	2.5	2.5	
A^{d*}	7.5	2.8	2.6	2.5	2.6	4.1
A^*	4.1					

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 진료예약콜센터를 운영하는데 있어서 최대로 허용 가능한 포기율을 만족시키면서 총 비용을 최소화하는 최적 인력을 산출하고 시간대별로 각 업무에 적정 인원을 배치하는 것에 대하여 비선형 정수계획 모형을 제시하였다. 그리고, 실제로 운영중인 진료예약콜센터의 데이터를 사용하고 상담원들의 근무 패턴을 고려하여 개발된 모형에 적용하였다. 실제 진료예약콜센터에 적용하여 얻어진 솔루션으로부터 알 수 있듯이 운영 규모가 커지고 시스템이 복잡해 질수록 과거의 관행이나 경험 또는 직관에 의하여 최적해를 구하는 것이 불가능하고, 비선형 정수계획 모형 등 최적화 이론을 사용하여야 비용을 최소

화하고 수익을 극대화하며 효율이 증가하고 고객만족도를 높일 수가 있게 될 것이다.

본 연구에서 소개된 방법들이 실제 진료예약콜센터에 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 매 시간마다 자동적으로 모든 데이터를 저장하고 이것을 가지고 일주일마다 또는 매달마다 주기적으로 데이터를 비선형정수계획 모형에 입력하는 것은 전혀 어렵지 않다.

본 연구에서는 진료예약센터의 책임자와 토의를 통해 목표로 하는 최대 허용 포기율을 설정하였다. 하지만, 이렇게 미리 정해진 최대 허용 포기율을 사용하는 것이 아니라, 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 진료예약콜센터는 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_i^{d*} 와 S_i^{d*} 를 계산하였는데, 업무를 더 세분화하여 각 업무에 어떻게 적정 인원을 배치하는가 하는 것 또한 흥미로운 연구 주제가 될 것이다. 마지막으로 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.

V. 참고문헌

- [1] 정기주, 김재진, 유일, 소순후, 박득, “콜센터 성과의 영향 요인에 관한 연구”, 「한국정보전략학회지」, 제7권, 제2호(2004), pp.101-111.
- [2] [특집기사]콜 센터의 화려한 변신, 「매일경제」(2006.04.07)
- [3] Cachon, G. and Terwiesch, C., *Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management*. McGraw-Hill, New York, 2006.
- [4] Aguir S., Karaesmen F., Aksin O.Z., and Chauvet F., “The impact of retrials on call center performance”. *OR Spectrum*, Vol. 26(2004), pp353-76.
- [5] Aksin, O.Z. and Harker, P.T., “Modeling a phone center: Analysis of a multichannel, multiresource processor shared loss system”, *Management Science*, Vol.47, No.2(2001), pp.324-336.
- [6] Artalejo J.R., Economou A., and Gomez-Corral A., “Applications of maximum queue lengths to call center management”, *Computers & Operations Research*, Vol.34(2007), pp.983-996.
- [7] Borst S., Mandelbaum A., and Reiman M.I., “Dimensioning Large Call Center, Operations Research”, *Operations Research*, Vol.52, No.1(2004), pp.17-34.
- [8] Brown L., Gans N., Mandelbaum A., Sakov A., Shen H., Zeltyn S., and Zhao L.,

"Statistical Analysis of a Telephone Call Center: A Queueing-Science Perspective." *Journal of the American Statistical Association*, Vol.100, No.469(2005), pp.36-50.

[9] Gans N., Koole G., and Mandelbaum A., "Telephone call centers: tutorial, review and research prospects", *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol.5(2003), pp79-141.

[10] Garnett O., Mandelbaum A., and Reiman M., "Designing a call center with impatient customers", *Manufacturing & Service Operation Management*, Vol.4, No.3(2002), pp.208-227.

[11] Hampshire R.C. and Massey W.A., "Variational Optimization for Call Center Staffing", *TAPIA '05*(2005), pp.19-22

[12] Koole, G. and Mandelbaum, A., "Queueing Models of Call Centers: An Introduction", *Annals of Operations Research*, Vol.113(2002), pp41-59.

[13] Mariotto A., "Reminder calls help waiting-list' management and fairness", *The Internet Journal of Healthcare Administration*. Vol.2, No.1(2004).

[14] Mehrotra V. and Fama J., "Call center simulation modeling: Methods, Challenges, and Opportunities", *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp.135-143.

[15] Pichitlamken J., Deslauriers A., L'Ecuyer P., and Avramidis A. N., "Modeling and Simulation of a telephone call center", *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp.1805-1812.

[16] Seltman K., "Beyond the call",

Marketing Health Services, Vol.25 Issue4(2005), p44.

[17] Wallace R.B., and Whitt W., "A Staffing Algorithm for Call Center with Skill-Based Routing", *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol.7, No.4(2005), pp.276-294.

[18] Whitt W., "Dynamic Staffing in a Telephone Call Center Aiming to Immediately Answer All Calls", *Operations Research Letters*, Vol.24(1999), pp.205-212.

[19] Whitt W., "The Impact of Increased Employee Retention on Performance in a Customer Contact Center", *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol.8, No.3(2006), pp.235-252.

[20] Whitt W., "Staffing a call center with uncertain arrival rate and absenteeism", *Production and Operations Management*, Vol.15, No.1(2006), pp.88-102.