

고객지원 센터의 최적 인력 일정계획 수립 모델 개발에 대한 사례연구

유우연^{1*} · 김희동² · 양재경³

¹명지대학교 산업시스템 공학부 / ²삼성전자 / ³전북대학교 산업정보시스템 공학과

Case Study : Development of Customer Support Center Staffing Model

Wooyeon Yu¹ · Heedong Kim² · Jaekyung Yang³

¹Department of Industrial and Systems Engineering, Myong Ji University, Yongin, 449-728

²LCD Business, Samsung Electronics, Asan, 336-841

³Department of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756

Staff scheduling is an important area, both from an academic and industrial point of view. It has become increasingly important as business becomes more service oriented and cost conscious in a global environment. There has been a lot of study to develop new and efficient staff scheduling models and methods. The purpose of this paper is not to develop new theoretical results but to develop a comprehensive user-friendly staffing model that can be applied to the real-world practice. The developed staffing software, OptStaff, provides the optimal configuration of the customer support center including the selection of customer support center locations, the allocation of staffs to each selected location, and schedules of staffs, so as to minimize the total cost while maximizing the customer satisfaction level. OptStaff also has capability to do scenario analysis by varying the levels of parameters and to create a variety of graphs and reports with user-friendly interfaces.

Keyword: customer support center, staffing model, mathematical model, optimization

1. 서론

인력 일정계획 수립 분야는 학계와 산업계에서 공통적으로 중요한 분야로 인식되어져 왔다. 현재의 글로벌한 기업 환경에서 기업은 경쟁 우위를 점하기 위해서 고객 만족도 향상과 비용 절감이라는 두 가지의 목적을 동시에 달성하기 위해서 노력하고 있으며, 이에 따라 위의 두 가지 목적에 직접적인 영향을 미치는 인력 일정계획 수립의 중요성에 대한 인식이 확대되고 있

다. 특히, 시간에 따른 수요의 변동이 심한 상황에서 고객 서비스의 수준을 높게 유지하여야 하나 인건비가 총 비용의 높은 부분을 차지하는 항공 회사, 병원, 콜센터, 공공 서비스 기관, 호텔, 카지노, 그리고 놀이 시설 부문에서의 인력 일정계획 수립은 매우 중요한 부분으로 인식되고 있다.

효율적이고 새로운 인력 일정계획 수립 모델의 개발을 위해서 그 동안 많은 연구가 진행되어져 왔다. 인력 일정계획 수립 문제는 NP-complete 문제로 알려져 있으며 이러한 문제를 해결

*연락처 : 유우연 교수, 449-728 경기도 용인시 남동 산 38-2 명지대학교 산업시스템 공학부, Fax : 031-321-6598,

E-mail : wyyuie@mju.ac.kr

2004년 7월 16일 접수, 2회 수정 후 2005년 6월 10일 게재 확정.

하기 위하여 그 동안 확률적 모형, 시뮬레이션 기법, 수학적 모형, 경험적 기법 등 다양한 기법들이 적용되고 개발되었다. 앞에서 언급한 바와 같이 인력 일정계획 수립 분야에 대해서는 많은 연구가 진행되어져 왔으며 이들 연구에 대한 조사 또한 많이 이루어져 왔다. 인력 일정계획 수립에 대한 일반적인 연구 조사는 Bechtold *et al.*(1991), Tien *et al.*(1982), 그리고 Ernst *et al.*(2004) 등에 의해서 이루어졌다. 이 중 Ernst *et al.*(2004)에 의해서 이루어진 조사 문헌은 가장 최근에 수행된 인력 일정계획 수립에 대한 조사로서 그 동안 다양한 분야를 대상으로 이루어진 일정계획 수립 연구를 연구 모델과 알고리즘의 종류, 적용 산업계 그리고 해결 기법 등을 기준으로 분류하여 인력 일정계획 수립과 관련된 193편의 연구들에 대한 조사를 실시하였다.

위에서 언급한 논문 이외에도 인력 일정계획 수립과 관련된 조사 논문이 많이 있으며 이들 중 최초로 실시된 인력 일정계획 수립에 대한 조사 중의 하나는 일부 적용 분야를 대상으로 한 연구 논문으로써 Aggarwal(1982)에 의해서 수행되었다. 승무원의 일정계획 수립에 초점을 맞추어 수행한 문헌 조사 논문으로는 Bodin *et al.*(1983)가 있으며, 특히 비행 승무원의 일정계획 수립에 초점을 맞추어 실시한 논문으로는 Arabeyre *et al.*(1969)와 Gamache *et al.*(1998) 등이 있다. 간호사 일정계획 수립에 대한 논문 조사는 Sitompul *et al.*(1990)와 Bradley *et al.*(1991)에 의해서 수행되었다. 인력 일정계획 수립 문제 중 상대적으로 최근에 이루어진 콜센터 직원의 일정계획 수립에 대한 조사는 Mehrotra(1997)에 의해서 수행되었다.

본 연구는 인력 일정계획 수립을 위한 새로운 이론의 개발이 아니라 실제 기업 환경에서 적용할 수 있는 사용하기 쉽고 편리하며 다양한 종류의 보고서 및 그래프 제공 등의 기능을 지닌 사용자 중심의 시스템 개발에 초점을 맞추어 진행되었다. 본 연구에서 개발된 시스템에서는 최적 인력 일정계획 수립을 위하여 수학적 모델이 사용되었으며 이를 위해서 수학적 모델이 개발되었다.

2. 사례 분석

본 연구를 수행하게 된 동기 및 연구 결과를 적용한 기업의 현황은 다음과 같다. 솔라리스(가칭)라는 이름을 가진 기업은 태양열 장치를 전문적으로 제조/판매하는 기업으로서 이 분야에서 업계 최고의 위치를 확보하고 있다. 최근의 태양열 이용 관련 기술의 급격한 발전과 저렴한 비용으로 태양열 장치의 생산이 가능해짐에 따라 태양열은 대체 에너지원으로써 널리 활용되기 시작 하였으며 태양열 장치를 도입하는 기업도 증가하는 추세에 있다. 이와 같은 시장 환경에 따라 솔라리스의 사업 규모도 급격히 성장하고 있다.

솔라리스의 주요 고객지원 업무는 고객의 새로운 제품에 대한 문의나 고장 신고 및 고객 불편 사항을 접수 받는 콜 센터 업

무, 새로운 태양열 장치의 설치 업무, 기존에 설치되어 있는 장치의 고장에 따른 수리 업무 및 정기적인 유지/보수 업무 등으로 구성되어 있다. 현재, 솔라리스는 전국을 4개의 권역으로 구분하여 각 권역별로 별도의 지역 서비스 업체와 계약하여, 위탁 서비스 업체들이 고객 서비스를 제공하고 있는 상황이다. 따라서 각 권역별로 고객지원은 독립적으로 이루어지고 있다고 할 수 있다.

솔라리스의 최근 조사에 따르면 솔라리스의 고객관리 수준은 경쟁업체에 뒤지고 있는 상황이며 이러한 서비스가 계속된다면 솔라리스의 시장점유율은 하락할 것이라는 예측이 나왔다. 솔라리스는 자사의 서비스 수준이 경쟁업체에 뒤진 주요 이유를 지역의 독립적인 업체에 위탁하여 서비스를 지원하는 현행 방식에서 기인한다고 분석하고 이러한 서비스 지원 방식을 전환하여 솔라리스 내에 고객지원 센터 부서를 창설하여 고객 지원과 관련된 전체적인 업무를 직접 관할하여 서비스 제공 수준을 높여려는 계획을 세우고 있다.

솔라리스의 새로운 고객지원 센터 부서는 콜 센터 직원과 태양열 장치 설치 전문가, 유지/보수 전문가, 마지막으로 여러 기술적인 업무에 경험을 두루 갖춘 기술자로 설치 전문가와 유지/보수 전문가의 기술적인 문의에 해답을 제공할 수 있는 실력을 지닌 최고 기술자의 4가지로 직원 구분을 할 계획을 지니고 있으며 각 직원 유형별로 최저 비용으로 고객 서비스를 최대화시킬 수 있는 인원수의 산정 및 인력 일정계획을 수립하고자 한다. 이를 위해서 태스크 포스가 구성되어 다음의 요구 사항을 반영하는 고객 지원 센터의 최적 인력 일정계획 수립 모델을 개발하게 되었다.

- 사용자가 사용하기 편리한(User-friendly) 모델을 개발하여야 한다.
- 계량적인 분석이 가능하여야 한다.
- 시나리오 분석(What-if analysis)이 가능하여야 한다.
- 모델의 유지 및 보수가 편리하여야 한다.
- 각 직원 구분별 인력 일정계획 수립 결과 및 각 시간별 일정계획 수립 인력에 대한 결과를 나타낼 수 있어야 한다.

위와 같은 요구사항을 만족시키는 솔라리스 고객지원 센터를 위한 최적 인력 일정계획 수립 문제를 해결하기 위하여 태스크 포스는 “OptStaff”이라는 인력 일정계획 수립 소프트웨어를 개발하였다. OptStaff는 본 연구에서 개발된 수학적 모델링 기법에 기초하여 각 직원 구분별 최적 인력 일정계획 수립 결과를 구하며, 각 입력 파라미터들을 변경시켜 가면서 각 상황에 따른 최적해를 비교해 볼 수 있도록 개발되었다.

연구를 수행하면서 현행 고객지원 센터 모델을 분석한 결과 2.1절에 나타난 것과 같은 특징을 발견하였다. 분석을 통해서 도출된 현행 고객지원 센터 모델의 단점을 보완하고 고객 서비스 수준을 제고시키기 위하여 도출된 방안을 기초로 하여 향후 설립될 신규 고객지원 센터의 모형을 정립할 수 있었다. 본 장에서는 현행 고객지원 센터 모델 및 신규 고객지원 센터 모델

에 대한 간략한 설명이 이루어진다.

2.1 현행 고객지원 모델

현행 고객지원 업무는 다음과 같이 이루어지고 있다. 고객은 고객이 속한 권역을 담당하는 위탁 서비스업체에 연락하여 서비스 요청을 하며, 지역 위탁 서비스 업체는 자체적으로 서비스 제공이 가능한 스케줄을 확인한 후 스케줄에 따라 고객지원 업무를 수행한다. 현행 고객지원 센터 모델 하에서는, 각 위탁업체들은 고객지원을 위해서 콜 센터 직원과 태양열 장치 설치 전문가, 유지/보수 전문가, 그리고 최고 기술자를 별도로 고용하여 관리하고 있다.

또한, 각 위탁업체들은 서비스 제공 요청을 접수한 위탁업체가 서비스를 전담하여 제공하고 있으며 위탁업체들 간의 연락이나 서비스 정보 공유는 이루어지고 있지 않은 상황이다. 따라서 두 위탁업체가 물리적으로 근접한 곳에 위치하여 일부 지역에 대해서는 두 위탁업체에서 모두 서비스를 제공할 수 있음에도 불구하고 현행 모델 하에서는 한 업체는 서비스 요청이 많아서 서비스 제공일자가 지연되고 있는 반면에 이웃 권역에 있는 업체는 서비스 제공 요청이 없어서 쉬고 있는 경우가 발생하기도 한다.

2.2 신규 고객지원 센터 모델

신규 고객지원 센터 모델에서는 직원의 업무 유형에 따라 중앙집중식 고객지원 센터와 권역별 고객지원 센터로 구분을 하여 운영을 하기로 결정하였다. 먼저 콜 센터에 대해서는 권역별로 별도로 콜 센터를 구분하여 운영할 필요가 없으며 중앙집중식 콜 센터 운영이 콜 센터 운영에 따른 비용 절감, 고객지원 진척 사항 또는 데이터의 체계적인 관리 등의 이점을 지니고 있으므로 하나의 콜 센터를 운영하여 모든 고객지원은 이 콜 센터를 통하여 이루어지게 하였다.

둘째, 최고 기술자의 주요 업무는 실제로 현장에 투입되어 일을 하는 것이 아니라, 설치 전문가 또는 유지/보수 전문가가 실무적인 일을 진행하다가 기술적인 조언이 필요한 경우 최고 기술자에게 연락을 취하여 조언을 구하는 경우가 대부분이며, 최고 기술자가 실무에 투입되는 경우는 드물다는 업무 특성을 반영하여 이들도 중앙집중식으로 한 지역에 최고 기술자들을 근무시키는 것이 각 권역별로 근무시키며 그 권역에 대한 업무만을 담당하는 것 보다는 효율적이라고 분석되었다.

마지막으로, 설치 전문가와 유지/보수 전문가의 업무는 실제로 현장에 투입되어 근무하며 고객의 서비스 요청 시 빠른 대응을 위하여 한 지역에 모여 있기 보다는 권역별로 고객지원 센터를 설립하여 각 권역을 담당하도록 하되 이웃 권역의 업무가 많은 경우에는 중앙 고객지원 부서의 지시에 따라 이웃 권역의 업무를 대신 수행할 수 있는 유연 고객지원 체계를 유지하도록 하였다. 설치 전문가와 유지/보수 전문가에 대한 신규

권역별 고객지원 센터와 현재 운영되고 있는 고객 센터와의 차이점은 신규 고객지원 센터는 물리적으로는 권역별로 위치하여 있지만 서비스 제공 스케줄이나 직원의 근무 스케줄 등에 대한 사항을 중앙 고객 관리 부서로부터 직접적으로 통제 받게 된다는 점이다.

위와 같이 신규 고객지원 센터 모델에서 중앙집중식 고객관리 센터와 권역별 고객관리 센터를 동시에 운영하게 됨으로써 다음과 같은 이점을 얻을 수 있다. 첫째, 고객지원에 대한 진척 관리나 서비스 제공에 대한 모든 데이터를 중앙에서 관리함으로써 서비스 제공 수준 향상에 따른 고객만족도 향상을 이룩할 수 있다.

둘째, 중앙 고객 관리 부서에서 각 권역별로 유사한 업무량을 배분시킬 수 있으며, 한 권역의 고객 서비스가 많은 경우 이웃한 권역으로 서비스를 분배하여, 고객 서비스 완료 시간 단축에 따른 고객 대응력 강화를 이룰 수 있다.

셋째, 새로운 시스템은 중앙집중식 콜 센터 운영에 따른 콜 센터 운영 비용 절감 효과를 가져올 수 있다. 마지막으로, 효율적인 인력 운영으로 인해 콜센터 직원, 설치 전문가, 유지/보수 전문가, 최고 기술자의 인원수가 줄어들게 되어 인건비 부분에서도 상당한 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

3. 인력 일정계획 수립 모델 개발

본 연구는 수학적 모델링을 기초로 하여 인력 일정계획 수립에 대한 최적해를 구하였으며 다양한 입력 파라미터들을 변화시키며 해답을 비교할 수 있는 기능을 구현하고 사용자가 편리하게 사용할 수 있는 시스템을 개발하는 데 초점을 맞추어 수행되었다.

3.1 인력 일정계획 수립 모델의 구성

솔라리스 고객지원 센터의 최적 인력 일정계획 수립을 위하여 개발된 모델의 구성은 <그림 1>과 같다. 인력 일정계획 수립 모델의 주요한 기능은 다음과 같다.

3.1.1 인력 일정계획 시스템(Staff Scheduling System)

인력 일정계획 시스템은 요구되는 고객 만족 수준을 충족시키면서 최소의 비용으로 운영할 수 있는 각 직무별/지역별 최적 인력 일정계획을 수립한다. 인력 일정계획은 본 연구에서 개발된 수학적 모델을 기반으로 하여 생성되어진다. 입력 파라미터로는 요구되는 고객만족 수준 및 고객의 서비스 요청률, 장치의 고장비율, 새로운 설비의 설치비율 등 기존의 고객지원 데이터가 사용되며 결과물로는 직무별/지역별 인력 운영 일정 및 총 소요 비용이 산출된다. 입력 파라미터를 다양하게 변경시키면서 일정계획을 수립하여 결과를 비교할 수 있도록 설계되었다.

3.1.2 지식 발견 시스템(Knowledge Discovery System)

지식 발견 시스템은 데이터마이닝 기법을 사용하여 고객의 서비스 요청에 대한 대응시간 또는 서비스의 질 등과 같은 고객지원과 관련된 파라미터들과 고객만족 수준과의 상관관계를 규명하기 위하여 사용된다. 본 연구에서는 데이터마이닝에 필요한 데이터 형식을 갖춘 기존 데이터의 부재 등의 이유로 지식 발견 시스템을 활용할 수가 없으나 지식 발견 시스템을 설계하여 향후 이를 활용하기 위한 데이터를 수집할 수 있는 기초를 마련하는 데 중점을 두었다.

3.1.3 시나리오 분석

인력 일정계획 시스템에서 얻어진 결과는 주어진 고객 만족 수준에서 최적인 해답이다. 만일 요구되는 고객만족 수준을 얻기 위하여 소요되는 비용이 주어진 예산을 초과한다면 고객 만족 수준을 하향 조정하여 새로운 해답을 얻을 수 있다. 또한, 제품의 고장률이 감소할 경우나 서비스 시간의 단축이 발생할 경우의 소요 인력 변화와 총 소요 비용에 대한 결과를 예측하고자 할 경우에도 이러한 입력 파라미터를 변경하여 쉽게 결과를 확인할 수 있도록 개발되었다.

3.2 인력 일정계획 시스템을 위한 수학적 모델

인력 일정계획 시스템을 위한 수학적 모델은 콜 센터 직원과 최고 기술자가 유사하게 표현되며, 유지/보수 전문가와 설치 전문가가 유사하게 표현된다. 이러한 이유는 콜 센터 직원과 최고 기술자는 중앙의 고객지원 센터에 상주하며 고객지원을 하는 업무 유형이 비슷하고 유지/보수 전문가와 설치 전문가는 각 권역별로 상주하며 현장에서 서비스를 제공하는 업무 유형이 비슷하기 때문이다. 각 직원 유형별 수학적 모델은 다음과 같다.

3.2.1 콜 센터 직원

콜 센터의 업무는 요일별로 업무량에 차이가 있으므로 주 단

위 계획을 수립하여야 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 새로운 콜 센터는 4개 권역의 고객지원을 통합적으로 관리하게 되며, 4개 권역에서 발생한 콜 센터 업무를 통합한 데이터를 기초로 콜 센터를 운영하기 위한 직원의 수와 스케줄을 위한 수학적 모델이 개발되었다. 수학적 모델링에 앞서 모델링에 사용된 기호에 대한 설명은 다음과 같다.

파라미터

- s = 솔라리스에서 설정한 고객 서비스 수준(본 연구에서는 $s = (\text{서비스가 가능한 총 시간}) / (\text{서비스에 필요한 총 시간})$ 으로 정의함),
- n = 일주일 동안의 총 정규 근무 구간 수(예를 들어, 1일 3교대를 가정하면 $n = 3 \times 7 = 21$ 임),
- b = 근무 구간당 근무하는 시간(예를 들어, 1일 3교대이면 1 근무 구간당 8시간씩 근무를 하게 되므로 $b = 8$ 임)
- m = 직원이 하루에 초과 근무할 수 있는 최대 시간(예를 들어 $m = 6$ 이면 직원은 하루에 정규시간 8시간과 초과 근무 시간 6시간을 합하여 14시간까지만 근무할 수 있음),
- t_{ij} = 근무 구간 i 의 j 번째 시간에 걸려오는 모든 통화량에 대하여 서비스를 제공하기 위하여 필요한 총 시간(분단위로 계산),
- c_1 = 콜 센터 직원의 정규 시간에 대한 시간당 인건비,
- c_2 = 콜 센터 직원의 초과 근무 시간에 대한 시간당 인건비

의사결정 변수

- x_i = 근무 구간 i 에 근무를 시작하는 콜 센터 직원 수
- y_{ij} = 근무 구간 i 의 j 번째 시간에 근무하는 콜 센터 직원 수

위와 같은 변수 및 파라미터를 기준으로 하여 개발된 최적 콜 센터 직원 수를 구하기 위한 수학적 모델은 다음과 같이 표현된다.

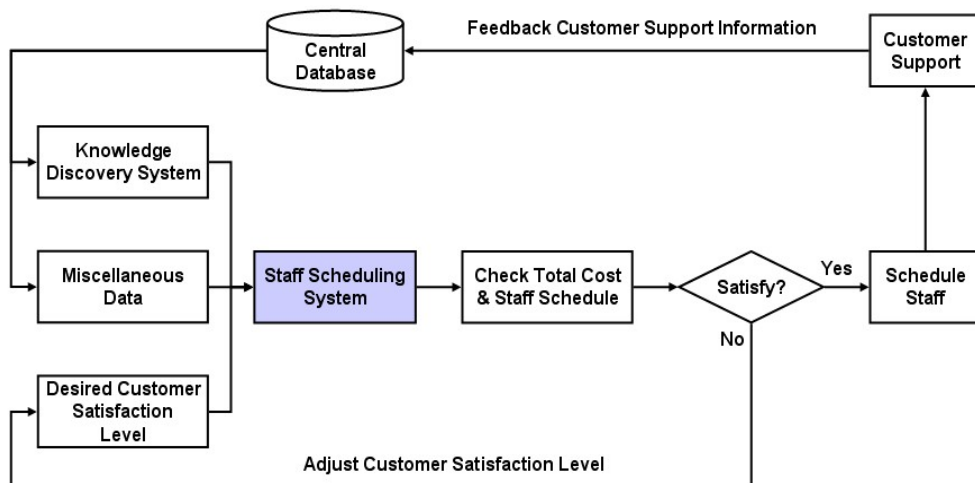


그림 1. 솔라리스 고객지원 센터의 최적 인력 일정계획 수립 모델의 구성.

콜 센터 직원을 위한 수학적 모델

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & c_1 h \sum_{i=1}^n x_i + c_2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{i,j} - x_i) \\ \text{Subject to} \quad & y_{i,j} \geq x_i, \text{ for all } i \text{ and } j \quad (1) \\ & y_{i,j} \geq y_{i,j+1}, \text{ for all } i \text{ and } j \quad (2) \\ & 60y_{i,j} \geq st_{i,j}, \text{ for all } i \text{ and } j \quad (3) \\ & \text{all variables} \geq 0 \end{aligned}$$

위의 수학적 모델의 목적함수는 정규 시간에 해당하는 인건비 $(c_1 h \sum_{i=1}^n x_i)$ 와 초과 근무 시간에 해당하는 인건비 $(c_2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{i,j} - x_i))$ 의 총합을 최소화시키는 것이다. 제약조건(1)은 초과 근무 시간 때문에 발생하는 제약식으로서 어느 시간 구간에 근무하는 직원 수는 그 구간을 포함하는 근무 구간에 근무를 시작한 직원의 수보다 같거나 커야 함을 의미한다. 제약조건 (2)는 근무 구간 내에서는 근무하는 직원 수가 증가할 수 없음을 나타낸다. 즉, 초과 근무하는 직원 수는 근무 구간 내에서 증가할 수 없다. 제약조건 (3)은 시간 구간 내에서 근무하는 직원들이 서비스할 수 있는 총 시간(분 단위)은 시간 구간에 걸려오는 모든 통화량에 대해서 서비스를 제공하기 위하여 필요한 시간에 서비스 수준을 곱한 시간보다 같거나 커야 함을 의미한다. 즉, 직원은 걸려오는 통화량의 정해진 서비스 수준 이상의 서비스를 제공하며, (1-*s*)의 비율로 서비스를 제공할 수 없다.

3.2.2 최고 기술자

앞에서 언급한 바와 같이 최고 기술자의 업무 형태는 콜 센터 직원과 유사하며 주요 업무는 유지/보수 전문가와 설치 전문가에 대한 지시 감독 및 난이도가 높은 업무에 대한 조언이며, 현장에서 일하기보다는 중앙 센터에서 전화로 대응하는 업무가 많으므로 이들의 일정계획은 콜 센터 직원의 일정계획과 유사하다. 단, 최고 기술자의 업무는 시급제가 아닌 월급제로서 초과 근무에 대한 별도의 수당은 고려 대상에서 제외되므로, 초과 근무에 대한 부분은 수학적 모델링에서 제외 될 수 있다. 또한 최고 기술자의 월급제에 대한 조건은 주별 일정계획을 불필요하게 하며 일별 일정계획을 수립하는 것으로 충분하다. 최고 기술자는 걸려오는 기술적 문의에 대한 통화의 응답은 반드시 이루어져야 하므로 콜 센터 직원에서 사용되었던 서비스 수준 (s)의 값은 항상 1이 되어야 한다. 위와 같은 이유로 최고 기술자를 위한 수학적 모델은 콜 센터 직원을 위한 수학적 모델보다 간단하게 표현된다. 최고 기술자를 위한 수학적 모델을 위해서 다음에 설명된 기호가 사용되었다.

파라미터

n = 하루 동안의 총 정규 근무 구간 수(예를 들어, 1일 3교대를 가정하면 *n* = 3일)

b = 근무 구간당 근무하는 시간(예를 들어, 1일 3교대이면 1 근무 구간당 8시간씩 근무를 하게 되므로 *b* = 8일)
t_i = 근무 구간 *i* 에 걸려오는 모든 기술적 문의에 대하여 대응하기 위하여 필요한 총 시간(분단위로 계산)
c₃ = 최고 기술자의 인건비

의사결정 변수

x_i = 근무 구간 *i* 에 근무하는 최고 기술자의 수

위와 같은 변수 및 파라미터를 기준으로 하여 개발된 최적 최고 기술자의 수를 구하기 위한 수학적 모델은 다음과 같이 표현된다.

최고 기술자를 위한 수학적 모델

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & c_3 \sum_{i=1}^n x_i \\ \text{Subject to} \quad & 60hx_i \geq t_i, \text{ for all } i \quad (4) \\ & \text{all variables} \geq 0 \end{aligned}$$

위의 수학적 모델의 목적함수는 최고 기술자의 인건비 $(c_3 \sum_{i=1}^n x_i)$ 를 최소화 시키는 것이다. 본 수학적 모델의 유일한 제약조건인 제약조건 (4)는 근무 구간 내에서 근무하는 최고 기술자가 서비스할 수 있는 총 시간(분 단위)은 근무 구간에 요청되는 모든 통화량에 대해서 서비스를 제공하기 위하여 필요한 시간보다 작지 않아야 함을 의미한다.

3.2.3 유지/보수 전문가

유지/보수 전문가는 각 권역별로 별도로 필요하며, 각 권역별 설치된 장치의 파라미터를 기초로 하여 권역별 필요한 유지/보수 전문가의 인원 수를 구할 수 있다. 본 모델에서는 유지/보수 전문가의 유형으로 8시간 근무하는 유형과 12시간 근무하는 유형이 있다고 가정하였다. 유지/보수 전문가의 수학적 모델은 기존에 설치되어 있는 장치에 대한 유지/보수뿐만 아니라 향후 1년간 계획된 신규 설치 장치에 대한 유지/보수도 고려되어야 하기 때문에 복잡성이 증가한다. 유지/보수 전문가를 위한 수학적 모델링에 앞서 모델링에 사용된 기호에 대한 설명은 다음과 같다.

첨자

i = 태양열 장치의 종류를 나타내는 첨자
j = 유지 보수의 종류를 나타내는 첨자(*j* = 1은 월 단위 유지/보수, *j* = 2는 분기 단위 유지/보수, *j* = 3은 연 단위 유지/보수를 의미함)
k = 월을 표현하기 위한 첨자(*k* = 1은 1월, ..., *k* = 12는 12월)

$q =$ 분기를 표현하기 위한 첨자($q = 1$ 은 1사분기, ..., $q = 4$ 는 4사분기)

파라미터

$m =$ 태양열 장치의 종류 수

$n_{i,k} = k$ 월에 발생한 태양열 장치 종류 i 의 고장 수의 기대값 (expected number of failure)

$s_{i,q} = q$ 분기에 설치된 태양열 장치 종류 i 의 수

$\alpha =$ 분기에 설치하여야 하는 총 장치 대비 한 달에 설치 가능한 장치의 최대 비율(예를 들어, “ $\alpha = 0.5$ 라는 것은 한 달 내에 분기에 설치 예정인 총 장치 수의 50%를 초과하여 설치할 수 없다는 것을 의미함)

$\beta =$ 분기에 유지/보수를 하여야 하는 총 장치 대비 한 달에 유지/보수가 가능한 장치의 최대 비율(예를 들어, “ $\beta = 0.5$ ”라는 것은 한 달 내에 분기에 유지/보수 예정인 총 장치 수의 50%를 초과하여 유지/보수할 수 없다는 것을 의미함)

$\gamma =$ 연간 유지/보수를 하여야 하는 총 장치 대비 한 달에 유지/보수가 가능한 장치의 최대 비율(예를 들어, “ $\gamma = 0.3$ ”라는 것은 한 달 내에 연간 유지/보수 예정인 총 장치 수의 30%를 초과하여 유지/보수할 수 없다는 것을 의미함)

$d_k = k$ 월에 포함된 일 수

$t_{ij} =$ 태양열 장치 종류 i 를 유지/보수 종류 j 를 하기 위하여 소요되는 시간(일 단위)

$r_i =$ 태양열 장치 종류 i 를 수리하는 데 소요되는 시간(일 단위)

$c_4 =$ 하루에 8 시간 근무하는 유지/보수 전문가의 인건비

$c_5 =$ 하루에 12 시간 근무하는 유지/보수 전문가의 인건비

의사결정 변수

$x_k = k$ 월에 필요한 8 시간 근무하는 유지/보수 전문가의 수

$y_k = k$ 월에 필요한 12 시간 근무하는 유지/보수 전문가의 수

$v_{i,j,k} = k$ 월에 유지/보수 종류 j 를 할 필요가 있는 장치 종류 i 의 총 수

$w_{i,k} = k$ 월에 설치할 필요가 있는 장치 종류 i 의 총 수

$z_{i,k} = k$ 월초에 있는 장치 종류 i 의 총 수

위와 같은 변수 및 파라미터를 기준으로 하여 개발된 최적 유지/보수 전문가를 구하기 위한 수학적 모델은 다음과 같이 표현된다.

유지/보수 전문가를 위한 수학적 모델

$$\text{Min} \quad c_4 \left(\sum_{k=1}^{12} x_k \right) + c_5 \left(\sum_{k=1}^{12} y_k \right)$$

Subject to

$$d_k (8x_k + 12y_k) \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^3 (t_{i,j} v_{i,j,k}) + \sum_{i=1}^m (r_i n_{i,k}), \quad \text{for all } k \quad (5)$$

$$w_{i,k} \leq \alpha s_{i,1}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 1, 2, 3 \quad (6-a)$$

$$w_{i,k} \leq \alpha s_{i,2}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 4, 5, 6 \quad (6-b)$$

$$w_{i,k} \leq \alpha s_{i,3}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 7, 8, 9 \quad (6-c)$$

$$w_{i,k} \leq \alpha s_{i,4}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 10, 11, 12 \quad (6-d)$$

$$\sum_{k=(3q-2)}^{3q} w_{i,k} = s_{i,q}, \quad \text{for all } i \text{ where } q = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

$$z_{i,k} = z_{i,k-1} + w_{i,k-1}, \quad \text{for all } i \text{ and } k \quad (8)$$

$$v_{i,1,k} = z_{i,k}, \quad \text{for all } i \text{ and } k \quad (9)$$

$$v_{i,2,k} \leq \beta z_{i,1}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 1, 2, 3 \quad (10-a)$$

$$v_{i,2,k} \leq \beta z_{i,4}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 4, 5, 6 \quad (10-b)$$

$$v_{i,2,k} \leq \beta z_{i,7}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 7, 8, 9 \quad (10-c)$$

$$v_{i,2,k} \leq \beta z_{i,10}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 10, 11, 12 \quad (10-d)$$

$$\sum_{k=(3q-2)}^{3q} v_{i,2,k} = z_{i,q}, \quad \text{for all } i \text{ where } q = 1, 2, 3, 4 \quad (11)$$

$$v_{i,3,k} \leq \gamma z_{i,1}, \quad \text{for all } i \text{ and } k \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^{12} v_{i,3,k} = z_{i,1}, \quad \text{for all } i \quad (13)$$

$\text{all variables} \geq 0$

위의 수학적 모델의 목적함수는 8시간 근무하는 유지/보수 전문가의 연간 인건비 $\left(c_4 \left(\sum_{k=1}^{12} x_k \right) \right)$ 와 12시간 유지/보수 전문가의 연간 인건비 $\left(c_5 \left(\sum_{k=1}^{12} y_k \right) \right)$ 의 총합을 최소화시키는 것이다. 제약조건(5)는 유지/보수 전문가가 한 달에 일할 수 있는 총 시간은 한 달에 수행하여야 할 유지/보수 시간보다 최소한 같아야 함을 의미한다. 오른쪽 항의 첫 번째 수식, $\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^3 (t_{i,j} v_{i,j,k}) \right)$,은 유지에 필요한 총 시간을 의미하며, 두 번째 수식, $\left(\sum_{i=1}^m (r_i n_{i,k}) \right)$ 은 보수에 필요한 시간을 의미한다.

제약조건 (6-a)부터 (8)까지는 새로운 장비의 설치에 관련된 제약식이다. 제약조건 (6-a)부터 (6-d)는 한달에 설치될 수 있는 장치의 최대 수는 분기에 설치 예정인 장치 수의 일정 비율을 넘을 수 없다는 것을 의미한다. 제약조건 (7)은 분기에 설치할 장치의 총 수는 분기에 설치된 총 수와 같아야 함을 나타낸다. 제약조건 (8)은 월 초에 태양열 장치의 총 수는 전월 초의 장치 수에 전월에 새로이 설치된 장치의 합과 같음을 나타낸다. 만일 월별 설치될 장치들이 사전에 정해져 있다면 제약조건 (6-a)부터 (8)까지의 제약식은 수학적 모델에서 생략될 수 있다.

제약조건 (9)부터 (13)까지는 설비유지를 위한 제약식이다. 제약조건 (9)는 월별 유지가 필요한 장치 수는 월초에 있는 장치 수와 같음을 나타낸다. 제약조건 (10-a)부터 (11)은 제약조건 (6-a)부터 (7)과 유사하다. 제약조건 (10-a)부터 (10-d)는 한 달에 분기간 설비유지가 필요한 장치는 분기에 설비유지가 필요한

장치의 일정한 비율을 넘지 못함을 나타낸다. 제약조건 (11)은 분기에 이루어진 유지의 총 수는 분기에 유지가 이루어져야 하는 장치의 총 합과 같아야 함을 의미한다. 만일 분기마다 이루어져야 하는 유지의 종류에 대한 월별 유지 스케줄이 정해져 있는 경우에는 제약조건 (10-a)부터 (11)의 제약식은 생략될 수 있다. 제약조건 (12)와 (13)은 연간 유지에 필요한 제약식으로 분기 유지에 필요한 제약식 (10-a)부터 (11)과 유사하게 해석될 수 있다. 만일 연간 유지의 월별 스케줄이 확정되어 있으면 이들 제약식은 생략할 수 있다.

위의 수학적 모델은 월별 유지/보수 전문가의 수가 변할 수 있다는 단점이 있다. 만일 월별 유지/보수 전문가의 수가 시간이 지남에 따라 줄어들 수 없다고 가정하면 다음 제약조건 (14)를 수학적 모델에 추가하면 된다.

$$x_k + y_k \geq x_{k-1} + y_{k-1}, \quad \text{for all } k \quad (14)$$

3.2.4 설치 전문가

설치 전문가 역시 유지/보수 전문가와 마찬가지로 각 권역별로 별도로 필요하며, 각 권역별로 설치 예정인 장치의 파라미터를 기초로 하여 권역별 필요한 설치 전문가의 인원 수를 구할 수 있다. 설치 전문가의 수학적 모델링은 유지/보수 전문가의 수학적 모델링과 매우 유사하며, 유지/보수 전문가의 수학적 모델링에 비해서 간단한데 이러한 이유는 유지/보수 전문가에 필요한 유지/보수 시간에 대한 제약조건을 사용할 필요가 없이 새로운 설치에 필요한 제약조건만이 필요하기 때문이다. 설치 전문가를 위한 수학적 모델링에 사용된 기호는 유지/보수 전문가를 위한 수학적 모델링에서 사용된 기호 중 의사결정 변수 x_k 를 제외하고는 동일하게 유지되며, 그 외에 추가적으로 필요한 기호에 대한 설명은 다음과 같다.

파라미터

e_i = 태양열 장치 종류 i 를 설치하기 위하여 필요한 설치 전문가의 수

t_i = 태양열 장치 종류 i 를 설치하기 위하여 소요되는 시간 (일 단위)

c_6 = 설치 전문가의 인건비

의사결정 변수

x_k = k 월에 필요한 설치 전문가의 수

위와 같은 변수 및 파라미터를 기준으로 하여 개발된 최적 설치 전문가를 구하기 위한 수학적 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad c_6 \left(\sum_{k=1}^{12} x_k \right) \\ & \text{Subject to} \\ & d_k x_k \geq \sum_{i=1}^m (e_i t_i w_{i,k}), \quad \text{for all } k \end{aligned} \quad (15)$$

$$w_{i,k} \leq \alpha s_{i,1}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 1, 2, 3 \quad (16-a)$$

$$w_{i,k} \leq \alpha s_{i,2}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 4, 5, 6 \quad (16-b)$$

$$w_{i,k} \leq \alpha s_{i,3}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 7, 8, 9 \quad (16-c)$$

$$w_{i,k} \leq \alpha s_{i,4}, \quad \text{for all } i \text{ where } k = 10, 11, 12 \quad (16-d)$$

$$\sum_{k=(3q-2)}^{3q} w_{i,k} = s_{i,q}, \quad \text{for all } i \text{ where } q = 1, 2, 3, 4 \quad (17)$$

$$\text{all variables} \geq 0$$

설치 전문가를 위한 수학적 모델의 목적함수는 설치 전문가의 연간 인건비, $\left(c_6 \left(\sum_{k=1}^{12} x_k \right) \right)$ 를 최소화하는 것이다. 제약조건 (15)는 설치 전문가가 한 달에 일 할 수 있는 총 시간은 한 달에 태양열 장치를 설치하는 데 필요한 시간보다 최소한 같아야 함을 의미한다. 제약조건 (16-a)부터 (17)은 제약조건 (6-a)부터 (7)과 동일하게 해석될 수 있다. 만일 월별 설치 전문가의 수가 월이 지남에 따라 줄어들 수 없다고 가정하면 다음 제약조건 (18)을 수학적 모델에 추가하면 된다.

$$x_k \geq x_{k-1}, \quad \text{for all } k \quad (18)$$

4. 적용 사례

앞장에서 개발된 각 직원 유형별 수학적 모델을 근거로 하여 “OptStaff”라는 소프트웨어가 개발되었다. 사용자와의 인터페이스를 위하여 마이크로소프트 사의 비주얼 베이직이 사용되었으며 수학적 모델에 대한 해결을 위하여 마이크로소프트 사의 엑셀 솔버(Excel Solver)가 사용되었다. 개발된 OptStaff의 장점은 사용자가 사용하기에 편리한 환경을 제공하며, 결과를 다양한 리포트와 그래프 형식으로 표현할 수 있을 뿐만 아니라 데이터베이스와의 자연스런 연동이 가능하도록 개발되었다는 것이다.

OptStaff에 대한 예시 화면이 <그림 2>에 나타나 있다. <그림 2>에 나타난 바와 같이 OptStaff는 각 직원 유형별로 주간/월간 일정계획을 수립할 수 있고 세부적인 일일 일정계획의 확인이 가능하며 전체적으로 소요되는 총 비용을 나타냄으로써 현재 일정계획을 운영하는 데 소요되는 연간 비용을 예측할 수 있다. 또한 OptStaff는 각 입력 파라미터들을 변경시켜 가며 실행함으로써 예상 시나리오에 대한 분석을 실행할 수 있도록 개발되었다. 기존의 고객 서비스에 대한 데이터를 활용하여 OptStaff를 실행한 결과는 다음과 같다.

4.1 콜 센터 직원 및 최고 기술자

콜 센터 직원과 최고 기술자에 대한 일정계획은 유사한 방법으로 표현된다. 콜 센터 직원의 일정계획을 수립하기 위해서 고객 서비스 수준 (ρ)는 0.9를 사용하였다. 일반적인 근무 구간

인 8:00am~4:00pm, 4:00pm~0:00am, 0:00am~8:00am의 세 구간으로 근무 구간을 가정하고 OptStaff를 사용하여 얻은 결과가 <그림 3>에 나타나 있다. 그림에 나타난 바와 같이 요일별/구간별 근무해야 하는 콜 센터 직원의 수는 콜 센터로 걸려오는 전화량의 요일별/구간별 변동에 따라 차이가 발생한다. 콜 센터 직원의 경우 일반적으로 4:00pm~0:00am이 가장 바쁜 근무 구간으로 분석되었다. 앞에서 언급한 바와 같이 OptStaff는 <그림 3>에 나타난 각 근무 구간별 콜 센터 직원의 수 이외에도 각 시간 구간에 따른 초과 근무 직원의 수 등과 같은 세부적인 일정계획도 확인이 가능하도록 개발되었다.

최고 기술자에 대한 결과는 <그림 4>에 나타난 바와 같다. 최고 기술자는 월급제이므로 요일별 근무 인원 수가 같으며 가장 많은 기술자가 근무해야 하는 구간은 8:00am~4:00pm 구간으로, 이는 유지/보수 전문가와 설치 전문가의 작업이 주로 정규 시간대에 많이 이루어짐에 기인한 것으로 분석된다.

콜 센터 직원 및 최고 기술자를 위한 일정계획은 직원의 근무

구간 구분에 따라 상이한 결과를 나타낸다. 즉, 8:00am에 첫 근무 구간을 확정하여 8시간씩의 근무 후 교대를 하는 일정계획과 7:00am에 첫 근무 구간을 확정하여 8시간씩의 근무 후 교대를 하는 일정계획과는 직원 수 및 비용 측면에서 차이를 발생시킬 수 있다. <표 1>은 첫 번째 근무 시간을 상이하게 설정하였을 경우에 발생하는 총 비용을 비교해 놓은 것이다. 표에서 나타난 바와 같이 콜 센터 직원의 경우 근무 시간을 7:00am으로 설정하였을 때가 \$84,450의 가장 적은 비용으로 인력을 운영할 수가 있으며, 최악의 스케줄에 비교하여(3:00am 시작의 \$97,200) 15%의 비용을 절감할 수 있다. 최고 기술자의 경우는 7:00am의 \$372,000의 경우가 2:00am의 경우(\$439,167)에 비해 18% 비용을 절감할 수 있다.

다음은 기존의 각 권역별로 고객지원을 하고 있을 경우와 신규로 계획중인 중앙 고객지원 센터의 경우를 비교하여 <표 2>에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 신규 중앙 고객지원 센터는 기존의 고객 센터에 비해 월간 \$125,975의 인건비를 절

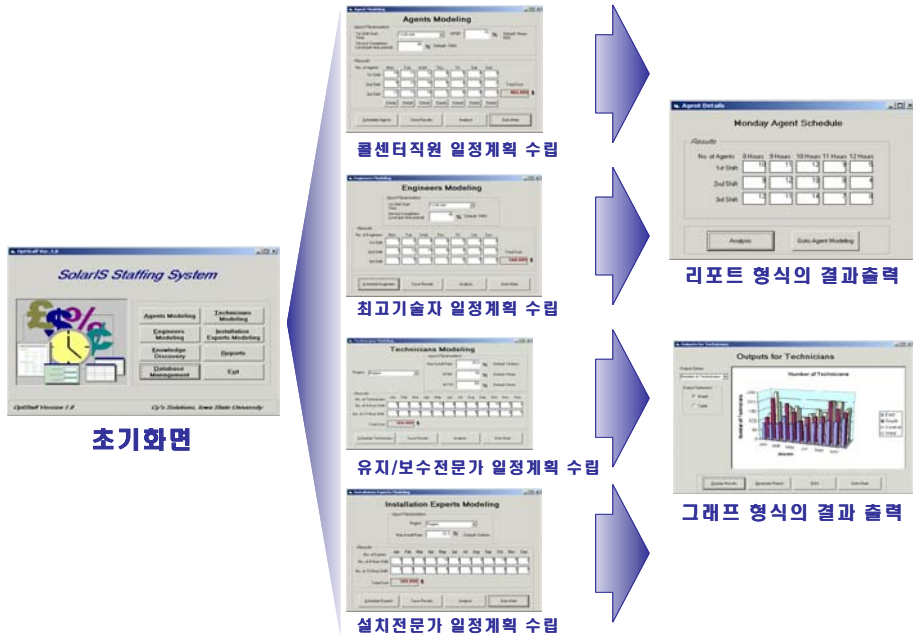


그림 2. OptStaff의 화면 예시.

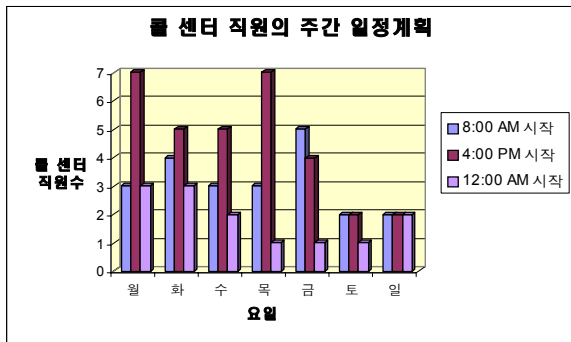


그림 3. 콜센터 직원의 주간 일정계획(1월).

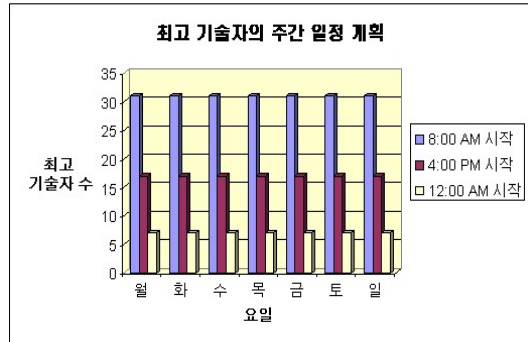


그림 4. 최고 기술자의 주간 일정계획(1월).

감할 수 있는 것으로 약 16%의 인건비 절감효과가 나타났다.

4.2 유지/보수 전문가 및 설치 전문가

솔라리스의 새로운 고객지원 센터를 위하여 필요한 유지/보수 전문가의 월별 일정계획은 <표 3>에 나타난 바와 같다. 각 권역별로 필요한 유지/보수 전문가의 수는 상이하며 유지/보수 전문가를 위한 연간 총 인건비는 \$38,524,304로 예측되었다. 이 모델의 단점은 같은 권역 내에서 월별 필요한 유지/보수 전문가의 수가 차이가 나는데 이러한 해답은 실무에서 적용하기가 어렵다는 단점이 있다.

위와 같은 상황을 극복하고자 제약조건 (14)를 추가하여 해답을 얻은 결과 매월 필요한 유지/보수 전문가의 인원 수는 시

간이 지남에 따라 줄어들지 않은 대신 총 비용은 \$42,583,975로 약 10.5% 증가하였다.

설치 전문가의 최적 일정계획은 <표 4>에 나타난 바와 같으며 연간 총 인건비는 \$2,940,680이 소요되는 것으로 예측되었다. 유지/보수 전문가의 경우와 마찬가지로 설치 전문가 역시 제약조건 (18)을 추가하여 시간이 지남에 따라 필요한 인력의 수를 줄어들지 않게 조정할 수 있으며, 이 경우 연간 총 인건비는 \$3,172,634로 7.9% 증가하였다.

표 1. 근무 시작 시간에 따른 콜 센터 직원 및 최고 기술자의 인건비

첫 번째 근무 구간 시작 시간	콜 센터 직원 비용(\$/월)	최고 기술자 비용(\$/월)
1:00 am	96,621	431,933
2:00 am	95,807	439,167
3:00 am	97,200	436,067
4:00 am	93,643	419,533
5:00 am	90,750	408,167
6:00 am	88,221	394,733
7:00 am	84,450	372,000
8:00 am	91,800	400,933

표 2. 기존 고객 센터와 신규 고객 센터의 콜 센터 직원과 최고 기술자의 인건비 비교

구 분	권역	직원 구분	인건비 (\$/월평균)
기존 (권역별)	동부	콜 센터 직원	48,672
		최고 기술자	156,025
	서부	콜 센터 직원	58,609
		최고 기술자	165,625
	남부	콜 센터 직원	40,941
		최고 기술자	130,500
	북부	콜 센터 직원	35,657
		최고 기술자	143,117
합 계			779,146
신규(중앙 집중식)	중앙	콜 센터 직원	142,171
		최고 기술자	511,000
	합 계		
기존 - 신규			125,975

표 3. 유지/보수 전문가의 월별 일정계획 및 인건비

권역	유지/보수 전문가 필요 인력(명)												인건비(\$)
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
동부	98	78	70	113	106	83	104	116	92	144	96	166	7,725,600
서부	108	148	80	156	150	103	120	168	102	228	174	149	11,077,992
남부	105	180	81	221	156	75	135	118	132	220	159	148	9,660,552
북부	127	206	82	167	168	130	153	171	112	251	186	130	10,060,160
총합	438	612	313	657	580	391	512	573	438	843	615	593	38,524,304

표 4. 설치 전문가의 월별 일정계획 및 인건비

권역	설치 전문가 필요 인력(명)												인건비(\$)
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
동부	6	7	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	557,183
서부	12	13	12	11	10	11	12	12	12	13	14	13	1,089,878
남부	8	9	8	7	7	7	8	8	9	9	9	9	637,283
북부	8	9	8	8	7	8	9	9	9	9	10	9	656,336
총합	34	38	34	32	30	32	35	35	37	38	40	38	2,940,680

5. 결론

인력 일정계획의 수립은 고객만족도와 인건비 측면에 직접적인 영향을 미치기 때문에 학계와 산업계에서 공통적으로 중요하게 인식되어 왔으며 이와 관련한 활발한 연구가 진행되어 왔다. 본 연구에서는 인력 일정계획 수립을 위한 수학적 모델과 이를 활용한 일정계획 시스템인 OptStaff가 개발되었다. OptStaff는 수학적 모델링에 근거하여 각 직무 유형별 필요한 인력의 일정계획과 인건비를 산출하며, 입력 파라미터들을 손쉽게 변화시키며 결과를 비교할 수 있는 장점이 있다. 또한 다양한 보고서 형태 및 그래프를 출력할 수 있는 기능을 지니고 있다.

개발된 OptStaff를 현재 운영중인 실제 기업의 고객지원 센터를 대상으로 적용한 결과 기존의 고객지원 센터 운영과 비교하여 인건비에서 약 16%의 절감효과를 가져 올 수 있었다. 본 연구의 한계성은 고객지원 센터의 동적인 서비스 상황을 반영할 수 없다는 단점을 지니고 있기 때문에 실제로 업무에 적용하기에 앞서 시뮬레이션 기법을 활용하여 주어진 인력 일정계획으로 고객 서비스 수준을 기대치만큼 충족할 수 있는지에 대한 확인 및 조정이 필요할 것으로 예측된다.

또한 OptStaff와 시뮬레이션에서 분석된 인력 일정계획 결과를 실무에 적용한 후에도 유지/보수 전문가 및 설치 전문가의 경우에는 권역별 업무량을 감안하여 중앙 고객지원 센터에서 적절한 업무량 배정에 대한 의사 결정을 함으로써 업무의 효율성 및 고객 서비스 수준을 제고시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Aggarwal, S. (1982), A focused review of scheduling in services, *European Journal of Operational Research*, 9(2), 114-121.
- Arabeyre, J., Fearnley, J., Steiger, F. and Teather, W. (1969), The airline crew scheduling problem: A survey, *Transportation Science*, 3, 140-163.
- Bechtold, S., Brusco, M., and Showalter M. (1991), A comparative evaluation of labor tour scheduling methods, *Decision Sciences*, 22, 683-699.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Ball, M. (1983), Routing and scheduling of vehicles and crews. the state of the art, *Computers and Operations Research*, 10(2), 63-211.
- Bradley, D. and Martin, J. (1991), Continuous personnel scheduling algorithms: A literature review, *Journal of the Society for Health Systems*, 2, 2-8.
- Caprara, Alberto, Monaci, Michele, and 쎄소, Paolo (2003), Models and algorithms for a staff scheduling problem, *Math. Program.*, 98, 445-476.
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., and Sier, D. (2004), Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models, *European Journal of Operational Research*, 153, 3-27.
- Eveborn, P. and Ronnqvist, M. (2004), Scheduler - A system for staff planning, *Annals of Operations Research*, 128, 21-45.
- Gamache, M. and Soumis F. (1998), A method for optimally solving the rostering problem, in: G. Yu (Ed.), *OR in Airline Industry*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 124-157.
- Jagerman, D. L. and Melamed, B. (2003), Models and approximations for call center design, *Methodology and Computing in Applied Probability*, 5, 159-181.
- Mehrotra, V., *Ring up big business*, OR/MS Today, 1997.
- Morton, E. T. and Pentico, W. D. (1993), *Heuristic Scheduling Systems*, John Wiley & Sons, New York.
- Nash, G. S. and Sofer, A. (1996), *Linear and Nonlinear Programming*, The McGraw-Hill Companies.
- Sitompul, D. and Radhawa, S. (1990), Nurse scheduling: A state-of-the-art review, *Journal of the Society for Health Systems*, 262-72.
- Tien, J. and Kamiyama, A. (1982), On manpower scheduling algorithms, *SIAM Review*, 24(3), 275-287.
- Wolsey, A. L. (1998), *Integer Programming*, John Wiley & Sons, New York.



유우연

명지대학교 산업공학과 학사
Iowa State University 산업공학과 석사
Iowa State University 산업공학과 박사
현재: 명지대학교 산업시스템공학부 조교수
관심분야: Material Handling, SCM, Logistics, Scheduling



양재경

한양대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
Iowa State University 산업공학과 박사
현재: 전북대학교 산업정보시스템공학과 전임강사
관심분야: 정보시스템, 데이터 마이닝, 데이터 베이스, 의사결정론, OR 응용



김희동

한양대학교 산업공학과 학사
Iowa State University 산업공학과 석사
Iowa State University 산업공학과 박사
현재: 삼성전자 LCD총괄 로지스틱스그룹
관심분야: Scheduling, SCM, Material Handling