

집합분할모형을 이용한 운항승무원의 승무경로 일정계획

김국연* · 이영훈**

Cockpit Crew Scheduling using Set Partitioning Problem

Kook-Youn Kim* · Young Hoon Lee**

■ Abstract ■

Efficient crew scheduling for cockpit crew is important in airline industry due to operational safety and cost associated with the flight duty time. Because of complexity of regulations imposed to the cockpit crew, it is complicated to generate an efficient schedule. Schedule of cockpit crew can be generated through two steps; selecting of flight patterns, and scheduling of them to the specific time horizon. Heuristic method is developed and applied with massive data in a limited time of computation. A set of flight patterns is selected from all possible flight patterns, which are generated by composing the flight leg based on regulations, by using the set partitioning problem with objective function of oversea stay cost. The selected set of flight patterns found at the first step is allocated to 4 week crew schedule to minimize the variance of total flight time assigned to each crew. The crew schedules obtained are evaluated and compared with the ones currently used in one of major airline company.

Keyword : Crew Scheduling, Set Partitioning Problem, Flight Pattern, Flight Leg

논문접수일 : 2002년 12월 23일 논문게재확정일 : 2003년 11월 18일

* 공군 항공사업단 방공관제사업처

** 연세대학교 컴퓨터산업공학부

1. 서 론

모든 산업의 발달과 더불어 항공 산업은 눈부신 발전을 이룩하게 되었으며 이제는 세계항공사간에 치열한 경쟁의 시대에 있게 되었고 다른 대부분의 기업과 마찬가지로 원가절감이 경쟁전략의 커다란 요인이 되었다. 기업운영에 있어서 원가절감으로 경영의 효율성을 높이기 위하여 신노선 개척, 서비스의 다양화, 운임의 저하, 고객 확보 등에 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. 이 중에서도 승무비용은 총 원가의 10~15%를 차지하는 주요한 요인이다. 그러므로 이러한 경쟁 속에서 지속적인 발전을 도모하기 위한 방안으로 항공 승무원들의 효율적인 일정계획 문제가 중요한 과제로 부상되었다. 항공승무원은 객실승무원(cabin crew)과 운항승무원(cockpit crew)의 2가지로 구분된다. 객실승무원은 객실에서 고객에게 서비스를 제공하는 승무원을 말하며 운항승무원들은 항공기를 조작하여 비행하는 업무를 담당하는 승무원을 말하는데 두 업무는 항공기를 탑승하여 임무를 수행한다는 점에서는 같으나 수행하는 업무내용의 상이함으로 인하여 승무계획/할당은 일반적으로 별도로 계획된다. 특히 운항승무원에게 적용되는 각종 규제 및 규칙은 항공기의 안전과 직결되어 매우 복잡하고 국가와 항공사마다 다르기 때문에 객실 승무원의 일정계획보다 복잡하다. 본 연구에서 다루고자 하는 문제는 항공승무원 중에서 운항승무원의 승무일정계획에 관한 것이다. 운항승무원들은 일정계획에 따라 모기지가 아닌 타 공항에서 일정시간 이상 체류해야 하는 경우가 발생하는데 이러한 종류의 체류시간이 많을수록 비행시간과 관계없이 호텔비, 식비, 공항체재비 등의 비용이 증가한다. 또한 운항승무원에게 할당된 비행시간이 공평하지 못할 경우 충분한 휴식 결여로 대형항공기 사고와 같은 안전저해요인 가능성이 내재하고 비효율적인 업무수행 등을 유발할 수 있다. 세계 각 항공운송기업은 승객과 기체의 안전을 고려하여 기업별로 운항승무원들의 근무에 많은 규제를 적용하고 있으며

각 국가들의 법률 및 사내 법규에 명시되어 있는 승무원의 업무량에 대한 규정을 만족하는 범위 내에서 승무원들을 항공편에 배정해야 한다. 예정된 항공노선 일정에 승무원들을 배정하는 승무원의 할당문제는 정기휴가, 병가, 교육 일정, 의료검진, 휴식시간 등을 고려해야 하는 등, 여러 가지 요소가 결부되어 있는 복합적인 문제이다.

운항승무원 일정계획은 크게 승무계획 패턴을 구하는 패턴생성 단계와 작성된 패턴으로부터 승무원 배정을 구성하여 완전한 스케줄로 결합하는 승무원 할당 또는 로스터링(Rostering)의 두 단계로 나눌 수 있다. 패턴이라 함은 동일한 운항승무원이 운항하는 2개 이상의 비행노선을 조합하여 승무일정계획을 작성하는 중간 단계의 과정이며 대체적으로 모기지를 출발하여 모기지로 되돌아오는 형태로 구성된다. 하나의 패턴은 대체적으로 한 조종사가 운항하는 것이 원칙이며 국제선의 장시간 운항 항로의 경우 운항시간이 법규에서 정하는 시간 이상일 때에는 복수의 조종사가 탑승하여 운항임무를 공유할 수 있다. 이론적으로는 패턴 생성 과정을 거치지 않고 각각의 비행노선을 기초로 하여 운항승무원의 승무일정계획을 작성할 수 있으나 현실적으로 너무 복잡하고 비효율적이어서 대부분의 항공사가 패턴 생성 및 승무원 할당의 두 단계의 과정을 거치고 있다. 패턴을 생성할 때 가장 많이 고려하는 것은 법규에서 정하는 각종 제한 조건에 합당한가를 판정하여 효율적이라고 판단되는 패턴의 조합을 찾게 되는데 대부분 승무일정계획의 비용의 대부분은 패턴 생성과정에서 결정된다. 이는 패턴을 구성하는 2개 이상의 항로의 중간에 승무원들이 타 지역에서 대기 또는 숙박하게 되는데 어떤 경우이든 무형 및 유형의 비용을 유발하기 때문에 연결성이 좋은 항로들의 결합을 찾는 패턴생성이 승무일정계획의 성능을 결정하는 가장 기초적이고 중요한 단계이다. 생성된 패턴을 조합하여 각 운항 승무원에게 할당하는 승무원 할당의 문제에서 가장 중요한 목표는 일정기간동안 각 승무원에게 할당되는 승무시간의 공평성인데 이는

첫째, 서로 상이한 패턴의 연결 상에서 발생하는 시간의 차이는 모기지에서 보내는 시간으로 이에 대하여 항공사가 승무원에게 비용을 지불할 필요가 없으며 둘째, 운항 승무원은 일정기간의 승무시간에 관계없이 기본급이 지급되고 일정시간을 초과하는 승무시간에 대하여는 누진적으로 높은 수준의 초과수당이 지급되기 때문에 항공사 입장에서는 공평하게 할당하는 것이 비용을 최소화하는 것과 일치하기 때문이다.

운항승무원의 승무일정계획에 관련된 연구도 위의 두 가지 경우로 구별할 수 있다. 패턴생성의 문제는 대체적으로 세트커버링문제(SCP : Set Covering Problem) 또는 세트 파티셔닝 문제(SPP : Set Partitioning Problem)를 이용하여 최적화 방법으로 해를 구하고 있다. 편승승무원(Dead Head)이라고 불리우는 추가 승무원 즉, 운항임무를 수행하지 않으면서 위치만 이동하는 승무원을 허용하면 SCP로 정형화될 수 있고 허용하지 않으면 SPP로 정형화가 가능하다. 그러나 위 두 가지 형태의 문제 모두 고려되는 변수의 수가 수십만 또는 수백만에 이르기 때문에 이에 관련된 대부분의 연구는 대형사이즈의 문제를 효율적으로 해결하는 해법을 찾는 방향으로 진행되어 왔다. 반면에 승무원 할당 문제는 운항승무원의 훈련, 시뮬레이터 비행, 또는 승무원의 선호경로 선정 등 각종 요소들의 반영을 위해 생성된 패턴을 개개인의 승무원에게 할당하는 과정을 일정한 규칙 또는 임의로 할당하는 과정으로 이루어진다. 그러나 승무원 할당의 효율성을 높이기 위하여 수많은 제약요인들을 고려한 최적화 방법을 적용할 수 있는 모델이 최근 제시하고 있다.

패턴생성 문제의 경우, 최적화 기법으로 시도되어 발견적 기법과 병행하여 실용적인 해를 구한 방법으로 Rubin(1973)은 분해기법을 사용하였고 Gerbracht(1978)는 라그랑지안 방법과 분지한계법에 기초를 둔 해법을 사용하였다. 가장 널리 사용된 기법은 행 생성(Column Generation)방법을 응용한 해법으로 Lavoie et al.(1988)과 Crainic and

Roussau(1987) 등이 있으며 Anbil et al.(1991)은 대형문제에 대하여 Barnhart et al.(1995)는 편승승무원을 효율적으로 이용하는 방식을 사용하여 행의 생성을 효율화하였다. Beasley and Cao(1996)은 일반적인 운항승무원 문제에 대해 라그랑지안 방법으로 해를 제시하였으며 Chu et al.(1997)은 행 생성시 그래프를 응용한 발견적 기법을 사용하여 가장 좋은 행을 선택함으로써 효율성을 제고한 해법을 제시하였고 Stojkovic et al.(1998)은 행 생성 방법과 분지한계법을 적절히 혼용한 해법을 제시하였다. Yan and Chang(2002)는 SPP문제에 대해 행 생성방법을 응용함에 있어서 이에 해당하는 네트워크를 구성하여 최단거리법을 사용하여 효율화시킨 해법을 제시하였다. 이 외에도 Levine(1996)은 SPP와 유전자 알고리즘을 결합한 해법을 제시하였으며 Abramson et al.(1996)은 SPP와 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing) 기법을 결합한 해법을, Lagerholm et al.(2000)은 패턴생성문제에 대해 신경망이론을 응용하여 해법을 도출하였다. 다른 형태의 최적화 기법을 사용한 해법도 제시되었는데 Beasley and Cao(1998)는 동적계획법을 적용하여 운항승무원이 중간기착지에서의 체류비용을 최소화하는 패턴생성문제를 정의하고 주어진 단위운항구간에서 동적계획법으로 최저의 비용을 갖는 값을 찾은 다음 라그랑지안 완화 모델을 사용하여 조기에 개선된 해를 구하였다. 국내 논문으로는 장병만(1985)은 복수모기지에 있어서 운항계획을 네트워크화하고 복수외판원 모형으로 변환하여 발견적 기법으로 짧은 시간에 해를 도출하였다. 네트워크 작성시 항공기가 모기지를 출발하여 모기지에 귀착할 때까지의 1회 운행제약시간을 고려하였고 비탑승 운행구간은 없는 것으로 하여 승무계획문제의 경우와 유사한 방법으로 작성하였다. 우형동(1993)은 운항계획표상의 가능한 모든 승무경로 즉 패턴으로부터 SPP로 모델링하여 정수계획법을 이용하여 해를 구하였다.

승무원 할당문제에 관한 연구로는 Ryan(1992)과 Gamache and Soumis(1993)등이 할당과정을 SPP

로 정형화하여 해법제시를 시도하였고 Teodoovic and Lucic(1998)은 항공기 승무원의 할당문제를 “Day-by-day”의 발견적 기법을 수정한 개선된 모델로 풀었다. “Day-by-day” 할당 방법이란 일일단위로 조종사를 근무에 할당하는 방법으로서 통상적으로 한 달 전에 임무배정이 이루어지는데 해당 달의 첫 날에 승무원의 업무를 배정한 후에 다음 날에 나머지 가용한 승무원들 중에서 업무를 배정하는 방법이다. 이때 특정한 운항승무원을 특정한 근무에 할당하고자 하는 의사결정자의 의지를 판단하기 위해서 추론적 알고리즘을 사용하였다. Dawid et al.(2001)는 승무원 할당문제를 해결하기 위한 모델로서 SPP문제에 대해 운항승무원 병목개념을 추가하여 해를 구하였다. 임의의 시간에 중복되는 패턴 수가 최대일 경우 가장 많은 승무원수가 동시에 필요하게 되는데 이 때가 승무원 할당시 필요한 최저 승무원 수가 된다는 점에 착안하여 병목시간대에 시간관련 승무원 병목 제약식을 주어 기존의 일반적인 해법보다 훨씬 빠르게 해를 도출하였다. 전지훈(1998)은 균용항공기에 있어서 승무원 피로도 누적방지와 임무달성 효과를 높이기 위해 목표계획 모형을 응용하여 조종사를 할당하는 해를 구하였다. 그는 전시라는 특성 때문에 고려될 수 있는 여러 가지 목표 중에서 정량화될 수 있는 자료를 바탕으로 각 승무원들의 피로도 방지를 위해 할당 전 승무원에 대한 임무 사이의 시간 간격을 최대화하면서 임무달성 효과를 높이기 위하여 임무지수 합을 최대화 할 수 있는 목표계획 모형이다.

본 논문에서 다루고자 하는 운항승무원 문제와 유사한 객실 승무원 일정계획문제는 탐승할 수 있는 항공기측면에서 운항승무원보다 가변적이고 또한 승무에 관한 규정이 운항승무원보다 유동적이다. 반면 직급별 항로별로 팀 형태로 근무하는 형태나 모기지가 승무원에 의해 결정되는 경우 또는 사용하는 언어에 따라 항로별로 제한을 받는 등 운항승무원과는 다른 형태의 문제이기는 하지만 상당히 유사성이 있다. 김명호(1996)는 객실승무원에

대하여 기존의 고정노정승무계획(중간기착지에서 일정시간 휴식 후 운항계획표상의 동일고정노선 승무)을 개선한 승무원 일정계획문제의 일반적 수식모형인 SCP를 이용한 유동노정 승무원 일정계획모형으로 해를 구하였다. 네트워크 모형을 이용한 Yan and Tu(2002) 또는 행 생성 기법에 기초한 Yan et al.(2002) 등이 대표적 논문이다.

운항승무원의 일정계획문제는 항공사마다 독특한 체계를 가지고 있는데 이는 항공사별로 운항하는 항로의 특성이 다르고 국가별로 근무의 성격, 노조와의 관행 및 근무형태의 선호도 등이 다르기 때문이며 이로 인하여 항공사별로 적용하는 세부적 규칙 등에서 상이하여 일정계획의 생성방법에서 동일하지 않다. 따라서 항공사별 케이스 스터디도 다양하게 보고되고 있는데 아메리칸 항공사의 일정계획을 담당하고 있는 SABRE의 경우는 Anbil et al.(1993), Chu et al.(1997) 및 Cook(1998)에서, Desaulniers et al.(1997)는 에어프랑스의 사례를, Suhl and Suhl(1999)은 유럽항공사의 경우를 보고하고 있으며 Ryan(2000)은 뉴질랜드 항공사의 사례를, Yan and Chang(2002), Yan and Tu(2002), 및 Yan et al.(2002)는 타이완 항공사의 사례를 보고하였다.

지금까지 연구된 논문은 위 두 가지 중 하나인 패턴생성 혹은 승무원 할당문제를 다루고 있다. 패턴생성의 성능은 최종적으로 승무원 일정계획을 작성함으로 일정계획의 효율성 측면에서 평가되어야 한다. 실제로 항공운항회사에서 실행되는 것은 승무원 일정계획이며 이에 따라서 운항승무원의 비행일정이 결정되기 때문이다. 국내의 대표적인 항공사의 경우 패턴은 과학적인 의사결정방법에 의해 결정되기 보다는 오랜 경험을 가지고 있는 내부 전문가의 직관에 의해 생성된다. 이는 대부분의 항공노선이 크게 변동이 없고 일정 기간마다 극히 일부만 변경되기 때문에 오랜 기간 사용해온 패턴에 변경된 비행노선을 추가 또는 삭제함으로 생성된다. 따라서 현재 비행노선의 계획에 가장 적합한 패턴인지에 대한 검증 절차 없이 누적적으로 수정

되어 온 패턴을 사용한다. 또한 근본적으로 새롭게 패턴을 생성하게 되면 이에 따라 승무일정계획의 기본적 형태가 급진적으로 바뀌게 되어 새로운 형태의 패턴 생성 자체를 터부시하고 있고 단 하루도 쉬임없이 운항되고 있는 운항의 연속성 측면에서 위험부담을 최소화하고자 하는 경영진의 안전 위주의 정책때문이기도 하다. 그러나 최근 국내의 대표적인 항공사 모두 운항승무원의 승무일정계획에 대한 불만이 높아져 파업이 자주 발생하고 근본적인 해결책 강구에 주력하고 있다. 따라서 운항승무원의 효율적인 승무일정계획에 대한 연구는 매우 필요한 상황이며 특히 이론적인 해법위주가 아닌, 실현가능한 결과를 도출하는 운항승무일정계획이 필요하게 되었다. 본 연구는 승무일정계획에 따른 체재비용의 최소화와 운항승무원간의 운항시간의 공평성 측면에서 효율적인 해를 구하는 과정을 제시함으로써 현재 실제 운영 중인 사례항공회사의 승무일정계획과 비교 분석하고자 한다.

본 논문은 기존의 논문에서 일반적으로 사용한 SPP모형을 기반으로 했다는 점에서는 동일하나 다음과 같은 측면에서 실용성을 강조한 사례연구라고 할 수 있다. 첫째, 패턴생성과정에서 단일모기지 패턴과 중복모기지 패턴을 동시에 최적화모형의 변수로 사용하였고 둘째, 승무원 할당시 공평성을 목적함수로 사용하기 위하여 분산비용을 정의하고 이를 SPP모형에 응용하였다. 대체적으로 승무원 할당시에는 SPP모형을 사용하는 사례가 적는데 이는 SPP모형의 변수로 사용할 수 있는 후보 승무일정의 수가 너무 많기 때문이다. 본 논문에서는 적절한 규칙을 제시하고 이를 근거로 성능이 좋은 승무일정만을 선택하여 성능이 우수한 전체 승무일정계획을 작성하였다. 셋째, 운항 승무원의 일정계획에 관한 연구가 패턴생성, 또는 승무일정계획의 실 사례 연구 중 분리된 형태의 한 가지 경우에 대한 연구가 많은데 이는 이론적 연구와 실 사례의 실증적 연구의 어려움 때문이다. 그러나 본 연구에서는 이를 연결하여 실 데이터를 이용한 비교분석을 실시하였다는 점에서 기존 연구와 구별

된다고 할 수 있다. 본 논문은 2장에서 승무일정계획의 2단계 모형의 개략적인 내용을 설명하고 3장에서는 1단계에 해당하는 패턴생성문제, 4장에서는 2단계 승무할당문제에 대하여 설명하였다. 5장은 사례항공회사의 실 데이터를 이용하여 제안된 해법을 사용한 해를 구하고 현재 사용 중인 승무일정계획과 비교함으로써 우수한 성능의 구현가능한 해가 도출될 수 있음을 설명하였으며 6장은 이에 대한 결론에 대해 기술하였다.

2. 항공승무원의 승무일정계획 모형

본 연구에서 사용되는 용어는 다음과 같다.

- 승무시간 : 운항승무원이 항공기에 탑승하여 비행 임무를 수행하는 시간이다. 항공기가 자력으로 움직이기 시작한 시각부터 비행 종료 후 정지한 시각까지를 통상 블록시간이라 하는데 승무시간은 블록시간 기준으로 산정한다. 항공기가 운항하는 운항시간과 대체적으로 동일하나 복수의 승무원이 탑승하여 임무를 공유하여 번갈아 수행할 때는 일정한 규칙에 의해 승무시간이 산정된다.
- 편승시간(dead head time) : 운항승무원이 다음 승무를 위해 또는 승무를 마치고 공항과 공항간을 항공기에 편승 운송되는 비임무 이동시간을 말한다.
- 근무시간 : 근무시간은 운항승무원이 회사업무에 종사하는 시간을 말한다. 승무하는 경우 운항 관리부서 또는 이에 대체되는 장소에 출두한 시각부터 비행을 종료한 시각까지이다.
- 휴식시간 : 운항승무원이 근무를 마치고 다음 근무를 들어가기 전에 모든 회사 업무로부터 벗어나는 시간으로서 승무를 끝낸 후부터 다음 승무를 위한 시간 전까지이다.
- 편승승무원(dead head) : 다음 승무를 위해서 또는 승무를 마치고 공항과 공항 간을 비행임

무를 수행하지 않으면서 항공기에 편승 운송되는 승무원을 말한다.

- 단위운항 구간(leg) : 항공기가 공항을 이륙하여 동일 공항이 아닌 타 공항에 착륙시 그 운항구간을 단위운항 구간이라 한다.
- 패턴 또는 승무경로 : 1주일 단위로 반복되는 운항계획상의 모든 단위운항구간들 중 승무규정을 충족시키면서 일정기간 동안 운항하도록 하기 위하여 모기지를 출발하여 모기지로 돌아오기까지의 운항계획상 구성한 일련의 단위운항구간들의 조합을 말한다.

승무일정계획을 작성하는데 있어서 정부의 법규와 회사 자체 내에서 정한 규정은 제약조건으로 고려하여야 한다. 이는 적절한 근무환경 제공과 항공운항의 안전을 위해 규정한 것으로 요약하면 다음과 같다.

- 승무원의 모기지는 인천이며 패턴은 모기지를 출발하여 모기지로 귀착한다.
- 휴식시간 없이 연속되는 24시간 중 승무시간이 8시간 미만의 경우 조종사 2명(기장 1명, 부기장 1명)이 운항하며 8시간 이상 13시간 미만의 경우 조종사 3명(기장 1명, 부기장 2명)이 운항하고 13시간 이상인 경우 조종사 4명(기장 2명, 부기장 2명)이 운항한다. 이 때 조종사 3명이 운항하는 경우 승무시간은 운항시간의 2/3로, 조종사 4명이 운항하는 경우 승무시간은 운항시간의 1/2로 계산한다. 조종사 2명이 운항하는 8시간 미만인 경우 승무시간은 운항시간과 같다.
- 승무원료 후 모기지로 돌아왔을 때는 모기지를 떠난 후 총 승무시간의 2배 이상의 휴식을 주어야 한다. 단 모기지 이외의 휴식에서 연속 36시간 이상의 휴식을 취한 경우 이 휴식시간 이전의 승무시간은 총 승무시간 산출시 제외된다.
- 운항승무원의 항공기 편승시간은 연속해서 16시간을 초과하지 않아야 하며 편승시간이 5

시간을 초과한 경우 다음 승무 전까지 8시간 이상의 휴식을 주어야 한다.

- 휴일은 1주일에 최소한 1일(연속되는 24시간)을 주어야 한다.
- 승무원의 휴식은 최종 휴식 후 최소한 근무시간 이상의 시간이 주어여야 한다.
- 하루 동안의 착륙횟수는 5회를 넘지 못한다.
- 연속되는 30일간의 총 승무시간은 90시간을 초과할 수 없다.

위에서 제시한 제약조건은 규정상으로 반드시 지켜져야 하는 사항이며 적절한 승무일정계획은 제약조건을 만족시키면서 안전운항을 위한 추가적 많은 고려사항들이 반영된 것이어야 한다. 또한 운항에 관련된 비용을 최소화할 수 있어야 한다. 예를 들면 운항승무원의 일정계획이 일정한 기간마다 휴식시간이 배정되도록 하는 것이 좋으며 30일 기준으로 전체 기간에 적절하게 승무시간이 분배되어 있는 것이 좋다고 볼 수 있다. 그러나 일정한 형태의 운항이 반복되는 것이 반드시 바람직한 것은 아닌데 이는 운항승무원의 긴장도를 낮출 위험이 있기 때문이다. 또한 전체 운항승무원에게 최대한 공평하게 승무계획이 배정되어야 하는데 이는 승무원별 전체 승무시간의 공평성 이외에도 모기지가 아닌 타지에서 숙박하게 되는 레이오버의 수를 공평하게 분배해야 하는 어려움이 있다. 공평한 승무계획은 비용측면에도 직접적인 영향을 미치는데 운항 승무원에게 지부되는 임금이 승무시간에 따라 차별 지급되기 때문이다. 사례 항공회사의 경우 월 60시간 이하의 승무시간은 일정액의 임금이 지급되며 60시간 초과 75시간 이하의 승무시간에 대해서는 평상 임금의 1.2배, 75시간 90시간 이하의 초과시간에 대해서는 1.5배의 임금이 지급되기 때문에 공평한 승무시간 배분은 임금총액의 감소로 이어진다. 승무원의 타지 숙박은 비용을 초래하는데 휴식시간에 대한 각종 규정 때문에 타지에 착륙하여 일정기간 휴식한 후 다음 운항계획에 따라 승무할 때까지 체류하는 동안의 발생비용을 최소

화하는 승무일정계획이 구성되어야 한다. 이를 종합하면 정량적으로 표현할 수 있는 목표와 정성적으로 판단할 수 있는 목표가 혼합되어 있어 일반적으로 정량화된 목표 기준으로 기준 승무계획을 생성한 후 수작업을 통해 이를 보정하는 형태로 승무일정계획을 작성한다.

본 연구에서도 사례항공회사 뿐 아니라 관련 연구에서 일반적으로 취하고 있는 패턴생성과 승무할당의 2단계 접근법을 따른다. 1단계의 패턴생성 과정은 우선 1주일 단위로 미리 계획된 운항계획표를 기본으로 하여 승무원이 모기지를 출발하여 일련의 단위운항구간들을 탑승 비행하고 모기지로 귀착하는 가능한 패턴을 생성하되 항공규정 및 회사규정 등 제반 비행관련 조건을 만족하는 패턴을 선택한다. 패턴 생성의 기준이 1주일 이내에 완결될 수 있어야 하는 규칙은 없으나 대부분의 운항계획이 주단위로 운영되며 주 단위의 반복적인 계획이므로 패턴 생성도 주단위로 생성하여 이를 4주 반복함으로 승무일정을 작성한다. 본 사례연구는 B747-400 기종이 운항하는 미주 및 구주노선을 대상으로 하고 있다. 생성되는 패턴 중에서 운항승무원의 해외 체류비용을 최소화하는 패턴의 집합을 구하고자 한다. 또한 선택되는 패턴은 주간 단위의 모든 운항계획을 포함할 수 있어야 한다. 2단계의 승무할당은 1단계에서 선택된 1주일간의 운항승무원비행계획을 4주간 반복하도록 하여 제반 제약조건을 만족하는 1달(4주)간의 가능한 모든 월간 승무경로를 작성한 후 운항승무원들로 하여금 승무시간이 공평하게 배당되도록 승무경로를 선택하는 형태로 구성하였다. 이 과정에서 승무원의 휴식시간에 관련된 제약조건과 승무시간에 관련된 기장과 부기장의 근무형태 등이 고려된다. 1단계와 2단계에서 공통적으로 사용된 최적화 기법은 SPP 문제로서 가능한 해를 주어진 조건 하에서 생성한 후 이 중에서 적절한 조합을 선택하는 과정에 최적화 기법을 응용한다. 1단계의 경우는 생성된 패턴이 주어진 운항계획을 모두 포함하되 체류비용을 최소화하는 문제로, 2단계에서는 연속되는 패턴간의

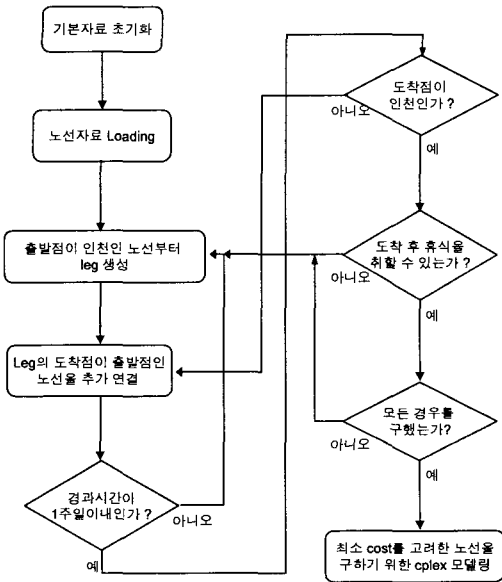
휴식시간에 대한 제약조건을 만족하되 운항승무원별로 할당되는 총 승무시간의 공평성을 극대화하는 문제로 구성하였다. 실제로 운항승무원별로 할당되는 총 승무시간의 합과 평균값과의 차이의 제곱값 즉 전체의 분산값을 집합분할 모형의 목적함수로 사용하여 해를 구하였다. <표 1>은 승무일정 계획을 작성하는 2단계의 도출과정을 요약한 것이다.

<표 1> 승무일정계획의 도출과정

	주요 해법과정	입력 데이터	목적함수	계획기간
1단계	패턴 생성	단위운항 구간	패턴내 체류비용 최소화	1주
2단계	패턴에 승무원 할당	패턴	승무원별 승무 시간의 공평한 할당	4주(1달)

3. 패턴 생성문제

패턴 생성문제는 운항규정 및 회사규정을 고려한 체류비용을 최소화하기 위한 승무경로 즉 승무원이 비행해야 할 운항경로를 계획하는 과정으로 이때 공항별 시간당 체류비용은 사례회사에서 책정된 자료를 이용하였으며 제약조건은 회사정책 및 승무규정 관련 사항을 고려하였다. 운항승무계획에 있어 승무경로라 함은 운항승무계획자가 승무원 할당문제를 용이하게 작성하기 위해서 일정기간 단위로 반복되는 운항시간표상의 모든 단위운항구간들 중 승무원들의 모든 규제사항들을 충족시키면서 일정기간 동안 운항하도록 하는 일련의 단위운항구간들의 집합이다. 따라서 여기서는 주어진 단위운항구간을 조합하여 중간기착지에서의 운항승무원 체류비용을 최소화하는 가능한 패턴을 생성한다. 영업 스케줄인 1주일간의 운항계획표가 주어지면 이 단위운항구간을 기본 자료로 하여 단일모기지 및 중복모기지 패턴의 2가지 방법으로 가능한 승무경로를 생성하였다. 패턴 생성과정 순서도는 <그림 1>과 같다.



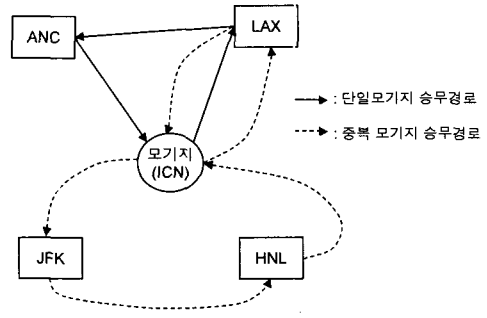
<그림 1> 1단계 패턴 생성순서도

● 단일모기지 패턴(single homebase flight pattern)

현행 사래항공사에서 운영하고 있는 승무경로 운영체제로서 <그림 2>에서 보는 바와 같이 승무원이 모기지를 떠난 뒤 승무원완료 후 모기지로 귀착하는 형태의 패턴이다. 즉 모기지는 주어진 경과시간 1주일 내에 경로상에 한 번만 방문하게 된다.

● 중복모기지 패턴(multi homebase flight pattern)

복수모기지 패턴은 <그림 2>에서처럼 사래항공사에서는 운영하지 않는 승무경로 형태로 단일패턴을 포함하며 또한 승무원이 모기지를 출발하여 승무경로의 중간에 경과 시간 내에서 모기지를 중복 방문을 허용하는 경우 패턴 운영체제이다. 사래항공회사의 현행 패턴 운영체제보다는 개선된 형태의 승무경로이다. 즉, 운항승무원들로 하여금 모기지를 가능한 많이 방문함으로써 해서 모기지에서 휴식시간을 가질 수 있어 회사 측으로 보면 기존의 중간기착지에서의 체류비용을 절약할 수 있고 인력관리의 효율을 기할 수 있는 이점이 있게 된다.



<그림 2> 단일 및 중복 모기지 패턴

단일모기지 및 중복모기지 패턴을 포함하여 생성된 모든 패턴 중에서 승무원정계획 작성에 사용될 패턴을 선택하는 것이 1단계 패턴형성문제이다. 모든 가능한 승무경로 중에서 2장에서 제시한 휴식시간 및 항공사의 미세제약조건을 만족하는 후보 승무경로를 선택하고 이 중에서 패턴으로 선택될 승무경로의 집합을 구하는 문제는 SPP 모형으로 정의할 수 있다. SPP 모형의 목적함수는 선택되는 패턴의 집합이 가지는 체류비용의 합을 최소화하는 것으로 항공사의 비용최소화의 목표를 달성하는데 1차적인 중요성을 반영하였다. 패턴생성 과정에 사용된 SPP 모형은 다음과 같다.

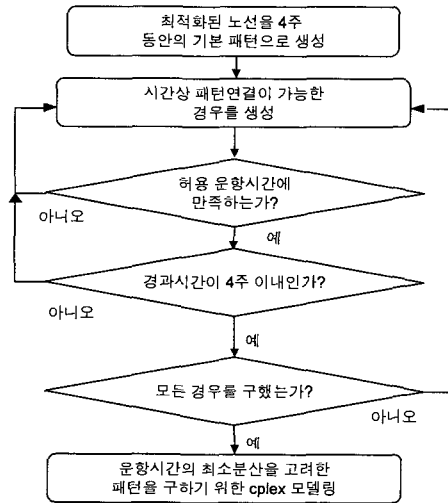
$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z &= \sum_{j=1}^n C_j X_j \\
 \sum_{j=1}^n A_{ij} X_j &= 1, \quad i = 1, \dots, m \\
 X_j &= 0 \text{ or } 1, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

위 모형에서 $i = 1, \dots, m$ 은 단위승무경로를 의미하며 $j = 1, \dots, n$ 은 생성된 제약조건을 만족하는 승무경로 즉, 패턴의 후보를 나타낸다. C_j 는 승무경로의 체류비용을 나타낸다. A_{ij} 는 0과 1을 나타내는 인덱스 값으로 승무경로 j 가 단위 승무경로 i 를 포함하고 있으면 1, 그렇지 않으면 0을 의미한다. 따라서 위 모형은 선택된 승무경로 j 에 대해 결정변수 X_j 의 값이 1을 가지게 되는 형태의 해를 구할 수 있으며 목적함수는 선택된 패턴의 체류비용의 합을 가지게 된다.

4. 승무원 할당문제

1단계의 패턴생성은 경과시간 1주일 이내에 마칠 수 있는 단위승무경로의 집합으로 구성하였다. 하나의 패턴은 운항 승무원이 승무하여 수행할 때 규정상 모든 요건을 만족하는 가능 승무경로가 된다. 1주 동안에 운영할 수 있는 패턴을 4번 연결하면 4주 동안의 승무일정계획이 형성된다. 물론 이때 패턴과 패턴의 연결과정에서 휴식시간 관련 규정이 준수되는지 판단하여 규정상 이상이 없는 패턴끼리 연결하게 된다. 2단계의 승무일정계획 작성은 생성가능한 모든 4주 가능 승무경로 중에서 기장 및 부기장 각각에게 할당하게 될 4주 승무경로를 선택하게 되는데 선택된 가능 승무경로의 수는 기장과 부기장의 수와 일치해야 하며 또한 선택된 4주 가능승무경로의 집합은 1단계에서 생성된 패턴을 주마다 한번씩만 포함하고 있어야 실행 가능한 승무일정계획이 형성된다. 이는 1단계와 마찬가지로 SPP 모형으로 해를 구할 수 있다.이 때 SPP 모형은 각 기장과 부기장에게 할당된 총 승무시간을 가장 공평하게 할 수 있도록 적절한 목적함수를 택할 수 있도록 한다. 주어진 기간 내에 총 승무시간과 운항승무원의 수가 주어졌으므로 승무시간의 평균값은 구해지며 따라서 생성 가능한 4주 승무일정 각각에 대해 비용을 부여할 수 있는데 이를 4주 승무경로에 대해 (승무시간-평균승무시간)² 값으로 정하여 SPP 모형의 총비용을 최소화하는 목적함수로 선택하는 것으로 하였다. 즉, 운항승무원의 총 승무 시간의 분산값을 최소화함으로써 최대한 공평하게 분배하도록 하였다. 이 때 SPP 모형에 고려하는 4주 승무경로의 후보로는 모든 가능한 경로를 고려하면 문제의 크기가 너무 커져서 주어진 모형의 해를 구하기 어렵게 되어 최종 선택될 가능성이 높은 4주 승무경로를 우선적으로 고려할 수 있도록 구성한다. 실제로 1주 패턴의 수가 40개인 경우 4주 가능 승무경로를 생성할 때 주별로 하나의 패턴만을 선택하여 구성하여도 경우의 수는 $40^4 = 2,560,000$ 이나 되어 해를 구하는데 많

은 시간을 필요로 하며 실용적이지 못하다. 본 연구에서는 4주 승무경로의 총 승무 시간이 평균승무시간의 일정배수 이하인 4주 승무경로만을 선택하여 모형의 해를 구하는데 적용하였다. <그림 3>은 2단계 승무원할당 승무경로 생성 순서도이다.



<그림 3> 2단계 승무원 할당문제승무경로 생성

2단계에서 적용된 SPP 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z &= \sum_{j=1}^N C_j X_j \\
 \sum_{j=1}^n A_{ij} X_j &= b_i \quad i = 1, \dots, M. \\
 \sum_{j=1}^N X_j &= d \\
 X_j &= 0 \text{ or } 1, \quad j = 1, \dots, N.
 \end{aligned}$$

위 모형에서 $i = 1, \dots, M$ 은 패턴을 의미하며 $j = 1, \dots, N$ 은 패턴을 기준으로 하여 생성된 4주 가능 승무경로의 후보를 나타낸다. C_j 는 각각의 4주 승무경로에 대하여 (승무시간 - 평균승무시간)² 값을 계산하고 이를 분산비용이라고 정의한다. A_{ij} 는 0과 1을 나타내는 인덱스 값으로 4주 승무경로 j 가 패턴 i 를 포함하고 있으면 1, 그렇지 않으면 0을 의미한다. b_i 는 패턴 i 에 소요되는 운항승무원의 수를 나타낸다. 이는 2장에 설명한 승무시간기준으

로 규정상 필요한 운항승무원의 수를 나타낸다. d 는 승무원할당에 포함되는 운항승무원의 수를 나타낸다. 위 모형은 기장과 부기장에 대하여 각각 해를 구하여 승무원정계획으로 확정한다.

5. 해법의 적용결과

사레항공회사의 미주노선 B-747 400기종이 운항하는 국제노선에 대하여 실 데이터를 이용하여 2단계의 승무원정계획 작성을 위하여 단계별로 나누어 실시하였다. 1단계에서 1주 동안에 운영 가능한 패턴후보를 C 프로그램으로 생성하고 생성된 가능한 모든 패턴을 1단계 패턴생성의 SPP 모형을 구성하였다. 이 때 최적화 문제의 해는 CPLEX를 이용하였다. 또한 2단계 승무원 할당문제에서도 1단계와 동일한 형태로 C 프로그램을 이용하여 4주 가능승무원경로를 생성한 후 CPLEX를 이용한 최적화 해를 구하였다. 2단계에서는 기장과 부기장에 대해 각각 해를 구하였다.

5.1 패턴 생성

패턴형성에 사용된 단위승무원경로는 <표 2>와

같은 형태로 주어지는 데이터를 사용한다. 사례연구에 사용된 단위승무원경로는 전체 115개이다. 출발 도시와 도착도시에 사용된 약자는 IATA(International Air Transportation Association) 코드로서 공항에 대해 전세계 공통적으로 사용되는 형태이다. 시간의 4자리 중 처음 두 자리는 시간이며 나중 두 자리는 분을 의미하는 것으로 예를 들면 1430은 14시30분 또는 14시간 30분을 의미하며 출발 및 도착시간은 그리니치 기준시간(GMT)이다. 항공사별로 노선 상에 있어서 공항이 위치한 곳의 물가나 기타 사항을 고려 공항별 시간당 체재비용은 회사내 규정으로 정의하고 있는데 본 연구에 포함되는 도시에 대하여 BRU(브뤼셀)은 시간당 \$3.12이며 ANC(앵커리지)는 시간당 \$2.32이고 그 외의 LAX(로스앤젤레스), SFO(샌프란시스코), JFK(뉴욕), SEA(시애틀), ORD(시카고) 모두 시간당 \$2.27을 적용하고 있다.

2장과 3장에서 설명한 각종 제약사항을 반영한 모든 가능승무원경로 즉 패턴을 생성하면 단일모기지 패턴의 경우 799개가 생성되었으며 중복모기지 패턴의 경우는 1459개가 생성되었다. 중복모기지 패턴은 단일모기지 패턴을 포함하고 있다. 이 때 기장과 부기장을 위한 패턴이 다르게 생성되는데

<표 2> 단위승무원경로의 예

편 명	출발요일	출발도시	출발시간	도착요일	도착도시	도착시간	승무시간	근무시간
201-1	SUN	LAX	0530	SUN	ICN	1830	1300	1430
201-2	MON	LAX	0530	MON	ICN	1830	1300	1430
201-3	TUS	LAX	0530	TUS	ICN	1830	1300	1430
:	:	:	:	:	:	:	:	:
204-1	SUN	ICN	2000	MON	LAX	0710	1110	1430
204-2	MON	ICN	2000	TUS	LAX	0710	1110	1430
204-3	TUE	ICN	2000	WEN	LAX	0710	1110	1430
:	:	:	:	:	:	:	:	:
221-1	SUN	JFK	1250	SUN	ANC	2020	0730	0900
221-2	SUN	ANC	2150	MON	ICN	0635	0845	1015
221-3	MON	JFK	1250	MON	ANC	2020	0730	0900
221-4	MON	ANC	2150	TUS	ICN	0635	0845	1015

이는 노선에 따라 기장과 부기장의 소요가 다르기 때문이다. 예를 들면 인천(INC) 출발로스엔젤레스(LAX) 도착 항로의 경우 11시간이 소요되는데 규정에 의하여 기장 1명과 부기장 2명이 운항하도록 되어 있다. 따라서 기장의 경우는 단위승무경로가 1회 생성되지만 부기장의 경우는 2회가 생성된다. 생성된 각각의 패턴에 대해 SPP 모형을 이용하여 선택된 패턴은 <표 3>에 있는 것과 같다. 번호는 위에서 생성된 가능한 모든 승무경로에 대하여 일련번호를 부여하고 선택된 패턴의 번호를 의미한다. 패턴의 운항경로는 출발도시와 경유도시 및 최종 도착 모기지를 나타내며 도시간의 숫자는 해당 단위승무경로의 일련번호를 의미하며 각 패턴에 대하여 운항승무원의 체류시간과 체류비용을 나타내고 있다. 참고로 생성된 패턴은 1주안에 모기지로 귀환하는 패턴으로 경우에 따라서는 금요일이나 토요일에 출발하는 경로는 다음 주 초에 귀환하는 경우도 포함하고 있다. 기장 및 부기장을 위한 단일모기지 패턴은 44개(이하 44/44) 선택되었으며 중복모기지 패턴은 기장용 39개와 부기장용 33개(이하 39/33)가 각각 선택되었다. 최소의 체류비용은 아니지만 적은 수의 패턴을 운영하는 경우와 비교하고자 중복모기지의 경우 기장 29개, 부기장 29개의 경우(이하 29/29)도 생성하였다. 체류비용을 살펴보면 44/44의 경우와 39/33의 경우 모두 1주 \$15,252이며 29/29의 경우 \$19,674라 하여도 현재의 사례항공회사의 경우 \$22,010 보다 현저히 감소시킬 수 있음을 보여준다.

5.2 승무원 할당

1단계에서 생성된 패턴을 4주간 조합하여 가능한 모든 승무일정을 생성한 후 모든 단위승무경로를 포함하는 승무일정의 집합을 선택하는 것이 승무원할당 과정이다. 편의상 운항승무원은 번호로 구별한다. 사례 항공회사의 경우 B747-400 기종의 경우 기장 81명, 부기장 115명으로 운영하고 있어 이를 적용하였다. 우선 1주간의 패턴을 4주간으로

확장하여 각각의 고유번호를 가진 패턴으로 정의한다. 예를 들면 1주간의 패턴 44개를 4주간으로 확장하면 총 176개의 패턴이 생성되고 전체 176개의 패턴 중에서 선택하여 연결하면 실제 운영 가능한 승무일정계획이 생성된다. 이 과정에서 운항승무원에게 적용되어야 할 각종 규정을 적용하여 제약조건을 만족시키는 승무일정만을 생성한다. 승무일정을 생성하는데 있어서 단순히 각 주에서 하나씩의 패턴만을 선택하여 연결하는 것은 아니며 같은 주에서도 규정상 모든 제약조건을 만족시키면 이를 가능한 승무일정으로 생성할 수 있다. 패턴을 각 주별로 확장하는 과정에서 출발요일 및 도착요일을 고려하여 이에 해당하는 날짜를 부여한다. 예를 들면 00은 첫 주 일요일을 의미하며 01은 첫 주 월요일, 07은 둘째 주 일요일 등을 각각 의미하도록 부여하여 패턴의 연결과정에서 규정상의 휴식시간을 계산하여 규정의 준수여부를 확인하는데 사용할 수 있도록 하였다. <표 4>는 4주간의 승무일정을 생성하는데 사용되는 기초승무일정의 예를 표시한 것이다. 참고로 174번 기초승무일정은 모기지 귀환 일정이 4주간인 28일을 지난 5주차 수요일이다. 이는 4주 승무 일정이 출발시점 기준으로 생성되어 연계성을 갖도록 하기 위함이다.

승무경로 생성할 때 1단계 패턴 생성시 선정되었던 단일모기지 44/44의 경우, 중복모기지 39/33, 29/29 각각 별도로 생성하였다. 각 경우에 대하여 기초승무일정을 연결하여 모든 가능한 승무일정을 생성하면 실제 SPP 모형에 입력하여 사용할 데이터의 양이 너무 많아 일정수준 이상의 승무일정만을 선택한다. 승무일정의 승무시간이 항로의 총 승무시간을 운항승무원의 수로 나눈 평균승무시간을 기준으로 하여 3~30% 내의 오차만을 가지고 있는 경우만을 대상으로 하였다. 예를 들면 44/44의 경우 각각 3%/5%의 오차만을 가진 승무일정만을 고려하여도 각각 244,535개와 113,442개의 승무일정이 생성되었다. 39/33의 경우 10% 기준을 적용 279,311개와 15,870개, 29/29의 경우 32,016개 및 9,240개를 생성하여 입력데이터로 사용하였다. 각

〈표 3〉 단일모기지 패턴(기장 44 패턴의 경우)

번호	패턴의 운항경로	체류시간*	체류비용(\$)
5	ICN-8-LAX-16-ICN	24.00	59.02
16	ICN-9-LAX-17-ICN	24.00	59.02
29	ICN-10-LAX-18-ICN	24.00	59.02
42	ICN-11-LAX-87-SFO-29-ICN	24.40	245.54
51	ICN-12-LAX-20-ICN	24.00	59.02
65	ICN-13-LAX-21-ICN	24.00	59.02
76	ICN-14-LAX-15-ICN	24.00	59.02
93	ICN-22-LAX-89-SFO-31-ICN	24.50	237.22
95	ICN-23-LAX-4-ICN	24.10	101.39
111	ICN-24-LAX-19-ICN	24.10	151.33
116	ICN-25-LAX-6-ICN	24.10	101.39
127	ICN-26-LAX-7-ICN	24.10	101.39
136	ICN-27-LAX-1-ICN	24.10	101.39
159	ICN-28-LAX-88-SFO-72-ICN	24.20	132.04
164	ICN-33-SFO-71-ICN	22.20	28.75
169	ICN-34-SFO-73-ICN	22.20	83.23
171	ICN-35-SFO-32-ICN	22.50	79.45
175	ICN-36-SFO-30-ICN	22.50	242.89
195	ICN-51-JFK-109-BRU-115-ICN	32.35	402.15
201	ICN-52-JFK-40-ANC-105-JFK-64-ICN	43.20	407.69
222	ICN-53-JFK-41-ANC-49-ICN	30.15	243.17
264	ICN-54-JFK-107-ORD-99-ANC-50-ICN	30.55	239.04
272	ICN-55-JFK-43-ANC-44-INC	30.15	243.17
313	ICN-56-JFK-113-BRU-114-ICN	32.35	293.19
326	ICN-57-JFK-60-ICN	29.15	252.73
330	ICN-68-SEA-66-ICN	21.30	58.64
333	ICN-69-SEA-67-ICN	21.30	113.12
334	ICN-70-SEA-65-ICN	21.30	58.64
355	ICN-74-JFK-59-ICN	29.15	93.83
367	ICN-75-JFK-39-ANC-86-LAX-5-ICN	39.20	204.66
412	ICN-76-JFK-61-ICN	29.15	93.83
451	ICN-77-JFK-62-ICN	29.15	93.83
487	ICN-78-JFK-63-ICN	29.15	93.83
538	ICN-79-JFK-90-ANC-84-LAX-2-ICN	38.55	206.35
556	ICN-80-JFK-37-ANC-85-LAX-3-ICN	39.20	204.66
601	ICN-81-ANC-104-JFK-106-ORD-98-ANC-48-ICN	31.20	166.27
626	ICN-82-ANC-110-JFK-42-ANC-92-ICN	30.20	226.55
657	ICN-83-ANC-97-JFK-91-ANC-100-ICN	29.55	235.46
675	ICN-94-ANC-93-ICN	16.15	42.73
702	ICN-95-ANC-112-JFK-38-ANC-46-ICN	30.40	172.27
709	ICN-102-ANC-47-ICN	16.35	38.67
754	ICN-103-ANC-96-JFK-58-ICN	29.40	244.23
780	ICN-108-ANC-101-ICN	16.15	58.97
781	ICN-111-ANC-45-ICN	16.35	45.24

주) * 체류시간은 시간과 분을 의미한다. 예를 들면 16.35는 16시간, 35분을 의미한다.

<표 4> 기초승무일정의 예(기장 단일모기지 패턴의 경우)

번호	출발요일	출발시간	도착요일	도착시간	승무시간	패턴의 운항경로
001	00	1630	04	0530	12.00	ICN-8-LAX-16-ICN
002	01	1630	05	0530	12.00	ICN-9-LAX-17-ICN
003	02	1630	06	0530	12.00	ICN-10-LAX-18-ICN
004	03	1630	10	0840	16.26	ICN-11-LAX-87-SFO-29-ICN
:	:	:	:	:	:	:
45	07	1630	11	0530	12.00	ICN-8-LAX-16-ICN
46	08	1630	12	0530	12.00	ICN-9-LAX-17-ICN
47	09	1630	13	0530	12.00	ICN-10-LAX-18-ICN
48	10	1630	17	0840	16.26	ICN-11-LAX-87-SFO-29-ICN
:	:	:	:	:	:	:
173	23	2120	26	1545	11.03	ICN-102-ANC-47-ICN
174	25	2120	31	1935	14.50	ICN-103-ANC-96-JFK-58-ICN
175	24	1730	27	1940	10.50	ICN-108-ANC-101-ICN
176	21	1830	24	1545	11.03	ICN-111-ANC-45-ICN

각의 경우마다 생성되는 경우의 수가 다양한 것은 적용되는 규정이 상이하고 무엇보다 1단계 패턴 생성과정에서 선택된 패턴들이 가지고 있는 성향에 달려 있기 때문이다. 실제로 1단계 패턴 생성과정은 2단계의 승무일정의 효율성을 감안하지 않고 체류비용만을 고려하였기 때문에 오히려 2단계에서 비효율성이 나타날 수 있다. 각 경우마다 정한 퍼센티지는 데이터 생성과정에서 임의로 정한 기준이다. 이 기준을 조정하면 더 좋은 승무 일정이 구할 수 있는 가능성을 배제할 수는 없으나 계산상의 효율을 위하여 임의로 정한 것이다. 위와 같이 생성된 승무일정에 대하여 4장에서 정의한 분산비용 즉, (승무시간-평균승무시간)²의 값을 계산하여 SPP 모형의 입력데이터로 사용한다. <표 5>는 위와 같은 방법으로 해를 구하여 선택된 승무일정계획의 예이다. 선택승무일정번호는 생성된 가능한 승무일정을 일련번호화한 후 선택된 승무일정의 번호를 나타내며 운항승무원에게 할당된 3~4개의 승무일정계획이 나타나 있다. 또한 각 운항승무원에게 할당된 승무일정에 대해 승무시간, 체류비용 및 분산비용의 값을 나타낸다. 선택된 승무일정의

수는 처음에 주어진 대로 기장 및 또는 부기장의 수와 일치한다. 최종 승무일정계획을 산출하기 위하여 적용한 SPP 모형은 CPLEX를 이용하였으며 모형의 해를 구하기 위해 사용된 변수는 9,240~279,311개이다. 각각의 경우에 대해 계산 소요시간은 44/44의 경우 각각 119시간, 42분이었으며 39/33의 경우 38분 및 5초, 29/29의 경우 41초와 2초가 각각 소요되었다. 계산에 소요된 시간은 일정하지 않은데 대부분의 경우 현장적용에 큰 무리가 없으나 44기장의 경우는 장시간이 소요되어 기초승무일정의 수를 줄임으로 실용적인 형태로 변형해야 할 필요가 있다.

5.3 실행 결과 분석

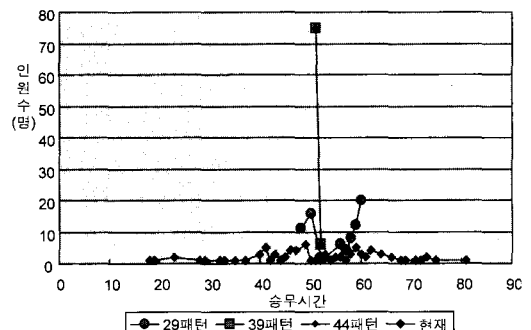
1단계와 2단계의 과정을 거쳐 생성된 승무일정계획에 대해 모든 규정을 준수하는 가운데 기장 및 부기장의 운항승무원에 대해 어느 정도 공평한가에 대한 분석을 실시하였다. 또한 본 연구의 결과와 사레항공회사에서 현재 사용 중인 승무일정계획과 비교하였다. 사레항공회사의 경우 최근 4주의

〈표 5〉 승무일정계획의 예(기장 단일모기지 패턴의 경우)

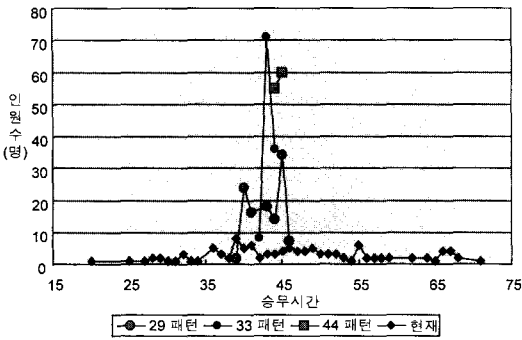
선택된 승무일정번호	주-기초승무일정	주-기초승무일정	주-기초승무일정	주-기초승무일정	승무시간	체류비용	분산비용
5,423	1-5	1-334	3-780	4-433	51.30	236.08	484
7,527	1-5	2-29	3-222	4-29	51.07	236.08	1
13,141	1-16	1-65	2-272	3-51	51.07	236.08	1
21,687	1-16	2-222	3-65	4-29	51.07	236.08	1
:	:	:	:	:	:	:	:
130,543	1-326	3-93	4-657		51.06	758.18	4
130,801	1-326	3-601	4-264		51.06	758.18	121
133,851	1-330	2-5	3-333	4-675	51.30	234.57	484
142,122	1-333	2-330	2-675	4-51	51.30	452.49	484
:	:	:	:	:	:	:	:
235,152	2-412	3-709	4-781	4-32	51.20	375.31	144
235,891	2-487	3-201	4-754		51.07	281.48	1
236,517	2-626	3-412	4-195		51.07	679.66	1
237,038	2-702	4-412	4-149		51.16	516.80	64

실제 운영되었던 데이터를 사용하였으며 월별로 큰 차이를 보이고 있지는 않았다. 다만 기장 81명과 부기장 115명 중에서 기장 2명과 부기장 1명에 대해서는 개인적인 사정으로 정상적인 근무를 하지 못하고 적은 승무시간을 기록하였으나 다른 운항 승무원들은 정상적인 상태에서 근무한 결과이다. <그림 4>와 <그림 5>는 기장과 부기장의 승무시간별 분포를 나타낸 것으로 사례항공회사에서 운영되었던 데이터와 비교하면 현격한 차이를 나타내고 있음을 한눈에 알 수 있다. 또한 기장과 부기장의 경우 모두 많은 수의 패턴을 사용하면 좀 더 공평하게 할당된 승무일정계획을 작성할 수 있음을 알 수 있다. <그림 6>과 <그림 7>은 운항승무원에게 할당된 시간을 작은 것부터 큰 것으로 정렬하여 나타낸 것으로 공평성에 대한 것을 한 눈에 비교할 수 있도록 한 것이다. 그러나 이에 대한 정확한 비교는 본 연구에서 제시한 승무일정계획을 기준으로 실제 운영하면서 4주 동안 발생하는 수많은 돌발 상황에 따라 수정 및 조정하여 실행 후 이에 대한 정확한 비교가 이루어져야 공평한 비교가 될 수 있다. 그러나 이는 사례항공회사에 실제

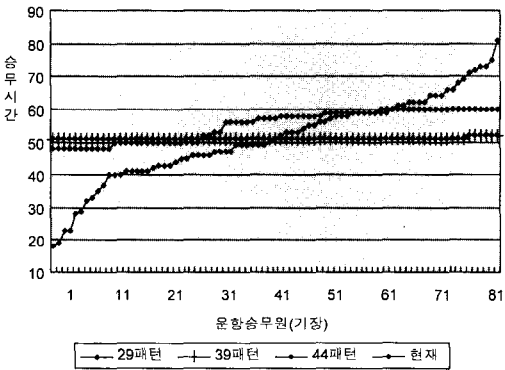
로 적용하기에는 시간적 물리적 한계가 있어 적용하지는 못하였다. 다만 본 연구에서 제시하는 승무일정계획을 기준으로 시작하여 운영하여 많은 수정이 이루어진다 하여도 현재의 사례항공회사의 계획보다 우수한 승무일정계획을 생성할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 사례항공회사가 오랫동안 진화적으로 발전시켜 온 패턴으로 수작업을 통해 승무일정계획을 작성하여 사용해 온 것에 비해 본 연구에서는 규정내의 가능한 다수의 패턴 중에서 최적화 개념을 이용한 선택된 해를 사용하였기 때문이다.



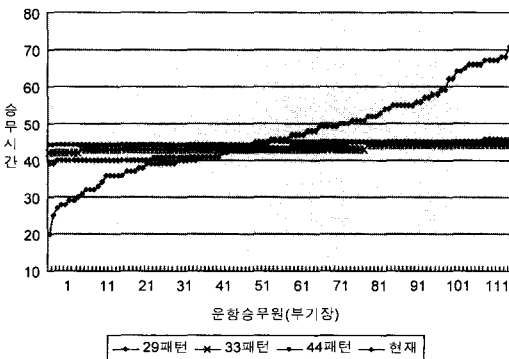
〈그림 4〉 기장 승무시간별 인원수 현황



〈그림 5〉 부기장 승무시간별 인원수 현황



〈그림 6〉 기장 승무시간 현황



〈그림 7〉 부기장 승무시간 현황

효율화시켰다는데 의미가 있다. 기존의 항공회사에서 생성하는 승무일정계획은 과거의 운항계획에서 변경되는 부분만을 수정해온 진화적 성격의 승무일정계획이며 또한 수많은 항공관련 규정을 만족하는 승무일정계획을 수작업으로 작성하다 보니 효율적인 계획을 작성하기보다는 법규를 준수할 수 있는 가능한 승무일정만을 생성하기에 급급했고 따라서 대표적으로 운항승무원간의 승무시간의 균형을 이루지 못함으로 항공운항의 안전성 및 일정승무시간 이상의 근무자에게 지급되는 초과 임금 등으로 인한 인건비 상승 등의 문제를 안고 있었다. 본 연구는 승무일정계획의 일반적 접근 방법인 1단계 패턴 생성과 2단계 승무일정 생성의 과정에 SPP 모형을 도입함으로써 실용적인 해의 도출 및 최적화 접근의 두 가지 방향의 상충적인 문제를 해결하였다고 판단된다. 구체적인 목적함수의 개선 측면에서는 사례항공회사에서 현재 사용하고 있는 기존방식과 비교할 때 현격하게 차이가 나지만 단순히 이러한 개선만으로 우수하다고 판단하기는 이르다. 다만 근본적으로 새로운 접근 방식으로 승무일정계획을 작성하는 방법론을 제시하고 이를 실행 가능함을 보여주었다는 점이다. 실제로 이를 적용하기에는 정량화하지 못하는 수많은 제약조건이 추가로 적용되어야 하는 문제점들이 있다. 예를 들면 운항승무원의 정해진 건강검진 일정, 시뮬레이션 비행훈련을 위한 교육일정 등이 있고 운항승무원마다 월별로 월차 또는 연차 등으로 임의로 쉬고자 하는 일정 등이 감안되어야 한다. 이는 4주 또는 1개월 단위의 승무일정계획을 작성할 때 가장 먼저 고려되어야 하는 사항이다. 또 실제 운영하면서 가장 자주 발생하는 문제는 돌발 상황이 발생할 때마다 즉시 수정되어야 하는데 이 부분은 아직도 상당부분 수작업에 의존할 수밖에 없다. 예를 들면 기상상황의 악화 등으로 특정지역에 경험 많은 특정 조종사가 운행하도록 변경되었다든지 조종사의 건강 또는 개인적인 사유로 승무하지 못하고 대기자가 승무했을 경우 이에 연계되어 승무일정 등이 변경되어야 할 경우 등이다. 결국 승무일

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 항공회사의 운항 승무원의 승무일정계획을 작성함에 있어서 최적화 기법을 응용하여

정계획의 융통성이 효율성의 중요한 기준이라 할 수 있는데 이 때 본 연구과정에서 생성되는 수많은 패턴 및 기초승무일정 등이 데이터로 제공되기 때문에 전보다 더 많은 좋은 후보자 중에서 선택할 수 있도록 해준다. 이러한 과정은 정보시스템화하면 더욱 편리하게 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김명호, "승무원 일정계획의 개선에 관한 연구", 성균관대학교, 박사학위 논문, 1996.
- [2] 우형동, "정수계획법에 의한 항공운항승무계획의 최적화에 관한 연구", 인하대학교 석사학위 논문, 1993.
- [3] 장병만, "복수모기지의 항공기 운항계획 및 승무계획문제의 발견적 기법", 서울대학교 석사학위 논문, 1985.
- [4] 전지훈, "항공기 승무원 할당 모형에 관한 연구", 국방대학교 석사학위 논문, 1998.
- [5] Anbil, R., E. Gelman, B. Patty and R. Tanga, "Recent advances in crew-pairing optimization at American airlines," *Interfaces*, Vol.21(1991), pp.62-74.
- [6] Anbil, R., C. Barnhart, L. Hatay, E.L. Johnson, and V.S. Ramakrishnan, "Crew-pairing optimization at American Airlines decision technologies," *Optimization in Industry*, Eds. by T.A. Ciriani, and R.C. Leachman, John Wiley and Sons Ltd. 1993, pp.31-36.
- [7] Abramson, D., H. Dang and M. Krishnamoorthy, "A comparison of two methods for solving 0-1 integer programs using a general purpose simulated annealing algorithm," *Annals of Operations Research*, Vol.63(1996), pp.129-150.
- [8] Barnhart, C., L. Hatay, and E. Johnson, "Deadhead selection for the long-haul crew pairing problem," *Operations Research*, Vol.43(1995), pp.491-499.
- [9] Beasley, J.E. and B. Cao, "A tree search algorithm for the crew scheduling problem," *European Journal of Operational Research*, Vol.94(1996), pp.517-526.
- [10] Beasley, J.E. and B. Cao, "A Dynamic programming based algorithm for the crew scheduling problem," *Computer & Operations Research*, Vol.25, No.7-8(1998), pp.567-582.
- [11] Chu, H.D., E. Gelman and E.L. Johnson, "Solving large scale crew scheduling problems," *European Journal of Operational Research*, Vol.97(1997), pp.260-268.
- [12] Cook, T.M., "SABRE Soars," *ORMS Today*, Vol.25, No.3(1998), pp.26-31.
- [13] Crainic, T.G. and J. Rousseau, "The column generation principle and airline crew scheduling problems," *INFOR*, Vol.25(1987), pp.136-151.
- [14] Dawid, H., J. König, and C. Strauss, "An enhanced rostering model for airline crews", *Computer & Operations Research*, Vol.28 (2001), pp.671-688.
- [15] Desaulniers, G., J. Desrosiers, Y. Dumas, S. Marc, B. Rioux, M.M. Solomon, and F. Soumis, "Crew pairing at Air France", *European Journal of Operational Research*, Vol.97(1997), pp.245-259.
- [16] Gamache, M. and Soumis, F., "A method for optimally solving the rostering problem", Cahier GERAD, G-90-40, Ecole des Hautes Etudes Commerciales, Montreal, Canada, H3T 1V6, 1993.
- [17] Gerbracht, R., "A new algorithm for very large crew pairing problems," In : 18th AGIFORS Symposium, Vancouver, Can-

- ada, 1978, pp.315-341.
- [18] Lagerholm, M., C. Peterson, and B. Söderberg, "Airline crew scheduling using Potts mean field techniques," *European Journal of Operational Research*, Vol.120(2000), pp. 81-96.
- [19] Lavoie, S., M. Minoux and E. Odier, "A new approach for crew pairing problem by column generation with an application to air transportation," *European Journal of Operational Research*, Vol.35(1988), pp. 45-58.
- [20] Levine, D., "Application of a hybrid genetic algorithm to airline crew scheduling," *Computer and Operations Research*, Vol.23, No.6(1996), pp.547-558.
- [21] Rubin, J., "A technique for the solution of massive set covering problems, with application to air crew scheduling," *Transportation Science*, Vol.7(1973), pp.34-48.
- [22] Ryan, D.M., "The solution of massive generalized set partitioning problems in aircrew rostering," *Operations Research Society*, Vol.43(1992), pp.459-467.
- [23] Ryan, D.M., "Optimization earns its wings," *ORMS Today*, Vol.27, No.2(2000), pp.26-30.
- [24] Segal, M., "The operator-scheduling problem : a network-flow approach," *Operations Research*, Vol.22, No.4(1974), pp. 808-823.
- [25] Stojkovic, M., F. SÖumis, and J. Desrosiers, "The operational airline crew scheduling problem," *Transportation Science*, Vol.32 (1998), pp.232-245.
- [26] Suhl, U.H. and L.M. Suhl, "Solving airline-fleet scheduling problems with mixed integer programming," *Operational Research in Industry*, Eds. by T. Ciriani, S. Glozzi, E.L. Johnson, and R. Tadei, Macmillan press Ltd., (1999), pp.135-156.
- [27] Teodorovic, D. and Lucic, P., "A fuzzy set theory approach to the aircrew rostering problem," *Fuzzy sets and system*, 95(1998), pp.261-271.
- [28] Yan, S. and J.C. Chang. "Airline cockpit crew scheduling," *European Journal of Operational Research*, Vol.136(2002), pp. 501-511.
- [29] Yan, S. and Y.P. Tu. "A network model for airline cabin crew scheduling," *European Journal of Operational Research*, Vol.140(2002), pp.531-540.
- [30] Yan, S., T.T. Tung, and Y.P. Tu. "Optimal construction of airline individual crew scheduling," *Computers and Operations Research*, Vol.29(2002), pp.341-363.