

허브 공항의 환승객을 고려한 최적 주기장 배정에 관한 연구
A Study on the Optimal Gate Assignment with Transit Passenger
in Hub Airport

이 회 남 · 이 창 호

인하대학교 산업공학과

heenami@nownuri.net, lch5601@inha.ac.kr

Abstract

Now many major airports in the world which operate strategic alliance or Hub & Spoke system have met capacity restriction and confusion problems. And the time and the walking distance for boarding to flight are important standard to measure customer convenience. And the effective gate assignment guarantees customers convenience as well as increasing airport capacity without expanding established airport equipments. So it can be a major concern to manage airports.

So this paper formulate gate assignment problem in the hub airport not quadratic assignment problem but a improved single period integer problem which is minimize local and transit passengers' walking distance. As a result, this study will present a method producing optimal gate assignment result using optimization software.

We use real flights and gates data in the national airport, so we will compare a assignment results with a real airport assignment results and previous researches and analyze those results.

1. 서론

세계 주요 항공사들이 전략적 제휴 (strategic alliance)와 허브 앤 스포크(hub and spoke) 운영을 수행하면서 전 세계 많은 공항들이 용량 제약과 혼잡의 문제에 직면하고 있는 상황이며, 특히 활주로 및 주기장의 용량은 공항 서비스를 결정하는 주요한 요소이다. 따라서 공항 당국은 점차 증가하는 항공

수요를 처리하기 위하여 활주로 신설, 터미널 확장 등 공항의 용량을 증대시키기 위해 노력하고 있지만 부지확보 및 환경 등으로 많은 어려움을 겪고 있는 상황이다. 이에 기존 시설을 효율적으로 활용함으로써 공항의 용량을 증가시킬 수 있는 방안이 점차 중요시되고 있으며, 효율적인 주기장 배정은 기존 공항시설의 확장 없이 그 용량을 증대시켜 줄 수 있다는 점에서 매우 중요하다 할 수 있다.

또한 주기되어 있는 항공기의 탑승 및 환승에 소요되는 시간 및 도보거리는 공항의 운영 및 이용 승객의 편리성을 측정하는 중요한 척도가 되며, 효율적인 항공기의 주기장 배정은 승객의 편리성을 제고시킬 뿐만 아니라 주기장의 이용률을 높일 수 있어 공항 운영의 주요 목표가 되고 있다[1].

그러나 국내 대형 공항의 경우 다양한 제약 조건 및 환경 변화에 대응하기 위한 전산화된 배정 시스템의 운영이 매우 미흡한 상황이며, 주기장 운영 요원의 수작업에 의한 경험적인 주기장 배정 방식이나 공항 공단에서 제시하고 있는 배정 규칙(assignment rule)을 기초로 한 주기장 배정 시스템을 사용함으로써, 비효율적인 주기장 운영과 불필요한 인력 낭비를 초래하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 허브 공항의 주기장 배정 문제를 기존의 발견적 해법이나 전문가 시스템을 이용한 접근 방식이 아닌 로컬 및 환승객의 이동거리를 최소화하는 개선된 단일 주기의 정수계획문제로 정식화하고 이를 최적화 소프트웨어를 활용함으로써 최적의 주기장 배정 결과를 산출할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 또한 본 연구의 주기장 배정 모델을 실제 국내 공항의 항공사 및 주기장 정보를 기초로 적용함으로써 기존의 정식화 모델과의 문제 크기, 배정 결과 및 수행 시간등을 비교 분석하는 것을 그 주된 목적으로 한다.

2. 문제의 정의

주기장 배정 문제(gate assignment problem)는 항공사들의 항공편 운항 스케줄에 따라 공항에서 출·도착 예정인 항공편에 대하여 주기장을 배정하는 아주 간단하게 이해할 수 있는 문제이다. 그러나 상대적으로 부족한 주기장에 많은 항공편을 효율적으로 배정하기 위해서는 각 항공편의 운항 스케줄 정보, 항공편의 기종, 주기장의 특성, 항공사 및 공항의 요구 조건 등 다양한 제약 조건을 만족시켜야만 한다. 이러한 주기장 배정 문제는 공항의 관리 사정, 항공편에 대한 부대 환경 등의 여러 가지 복잡한 인적·물적 요소들이 밀접하게 연관되어 있어 여기에 따르는 제약 조건을 만족하면서 로컬 승객 및 환승객의 이동 거리를 최소화할 수 있도록 항공편을 주기장에 할당하여야 하는 매우 어려운 난제로 자리 잡고 있다[2,3].

특히 본 연구의 대상이 되는 다중 시간 주기를 갖는 허브 공항의 환승객을 고려한 이동거리 최소화 모델은 일반적인 선형계획문제가 아닌 이차배정문제(quadratic assignment problem)로써 모델의 수식화 과정에서 발생하는 많은 의사결정변수와 제약조건으로 인하여 최적해를 구하기가 매우 어려운 NP Hard 문제로 분류되고 있다[5,8]. 이에 기존의 많은 연구에서는 최적해의 산출이 아닌 공항에서 사용되는 다양한 배정 규칙을 이용한 규칙 기반의 전문가 시스템(rule based expert system)이나 발견적 해법을 통하여 최적해에 가까운 가능해를 빠른 시간에 도출할 수 있는 접근 방안을 제시하고 있다[6,7,9].

그러나 기존의 주기장 배정을 위한 접근 방법은 공항의 효율적인 운영 및 승객의 편의성 증대라는 측면에서 볼 때 그 궁극적인 목적을 만족하기 어려운 상황이다. 배정 규칙을 기반으로 한 전문가 시스템의 경우 기존 공항에서 사용되고 있는 배정 규칙이 매우 경험적이고 보편적인 우선 배정 규칙 및 선호 주기장의 배정 여부 등에 대한 원칙들로 구성되어 있는 상황이므로 주기장의 이용률을 최대화하거나 승객의 이동거리를 최소화하는 공항 운영의 주요한 척도를 만족하는 최적의 배정 결과를 도출할 수 없다. 또한 기존의 발견적 해법에 의한 접근 방법의 경우에도 환승객을 고려한 이동거리의 최소화를 목적으로 항공편을 주기장에 배정하고 있으나 그 배정 결과가 최적해를 보장할 수 없을 뿐만 아니라 다양한 제약 조건 및 대상 모델의 크기가 증가함에 따라 수행 시간이 급격히 증가하며, 경우에 따라서는 가능한 배정 결과를 도출하지 못하는 경우도 발생이 가능한 상황이다.

이러한 상황에도 불구하고 공항의 주기장 배정이 일일/주간/월간 계획을 수립하는 것뿐만 아니라 기상 악화, 탑승료 주기장의 예상치

못한 고장, 항공편의 결항 및 지연 등 변동으로 인한 신속한 재배정의 필요성이 대두되고 있는 상황에서 오랜 수행시간이 소요되는 수식화 모델에 의한 최적해의 산출은 실제 공항의 주기장 배정에 적용되기 매우 어려운 상황이며, 빠르게 배정 계획 및 재배정 결과를 도출할 수 있는 기존의 접근방안들이 공항 운영에 활용되고 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 다중 시간 주기를 갖는 이차배정문제를 선형계획문제로 변환하는 과정에서 발생하는 많은 의사결정변수 및 제약조건들을 최소화하고 이를 통하여 최적해를 빠른 시간에 도출할 수 있는 정식화 모델 및 이를 위한 최적화 소프트웨어의 배정 모듈을 제시하고자 한다.

이러한 과정은 주기장 배정을 위한 대상 모델의 정식화 과정에서 항공편의 배정시간 및 항공편간의 환승객에 대한 정보를 검색하여 반영함으로써 이에 대한 의사결정변수 및 제약식의 생성을 최소화하는 접근 방안으로 이러한 과정은 최적해를 산출하기 위하여 활용되는 최적화 소프트웨어의 모듈을 구축하는 과정에서 적용되어진다.

본 연구에서 제시한 주기장 배정 모델의 경우 기존의 규칙 기반 전문가 시스템과 휴리스틱 알고리즘에 비하여 공항 운영의 주요한 척도가 되는 다양한 목적에 부합되는 최적의 배정 결과를 보장할 수 있을 뿐만 아니라 환승객이 고려되는 주기장 배정 문제의 배정 결과 산출에 소요되는 많은 수행 시간이라는 단점을 크게 보완함으로써 실제 공항의 주기장 배정 계획 및 재배정 단계에 적용될 수 있다.

3. 문제의 정식화

환승객을 고려한 다중 시간주기의 주기장 배정 문제는 항공편, 주기장, 시간주기의 3차원 정보를 갖는 의사결정변수를 이용하여 다음과 같은 0-1 선형계획문제로 정식화할 수 있다[4].

$$\begin{aligned}
 & \text{MIN} \sum_i \sum_{i'} \sum_j \sum_{j'} P_{ii'} D_{jj'} Y_{ijij'} \\
 & \quad + \sum_i \sum_{i'} \sum_j (P_{ib} D_{jo} + P_{\alpha} D_{\alpha j}) X_{i\alpha} \\
 & \text{s.t.} \sum_j X_{ij} = 1, \quad \forall i, t_i^s \leq t \leq t_i^e \\
 & \quad \sum_i X_{i\alpha} \leq 1, \quad \forall j, t \\
 & \quad X_{i\alpha} \leq X_{i\alpha(t+1)}, \quad \forall i, j, t, t_i^s \leq t \leq t_i^e - 1 \\
 & \quad Y_{ijij'} \geq X_{i\alpha} + X_{i'j'j}, \quad \forall i < i', j, j' \\
 & \quad X_{i\alpha} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall i, j, t \\
 & \quad Y_{ijij'} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall i, i', j, j', t
 \end{aligned}$$

Where

$$x_{it} = 1, \text{ if flight } i \text{ is assigned to gate } j \text{ in time } t$$

$$0, \text{ otherwise}$$

$$Y_{iij'} = 1, \text{ if flight } i \text{ is assigned to gate } j \text{ and}$$

$$\text{flight } i' \text{ is assigned to gate } j'$$

$$0, \text{ otherwise}$$

P_{it} - transit passengers from flight i to flight i'

P_{io} - local arrival passengers of flight i

P_{oi} - local departure passengers of flight i

$D_{jj'}$ - working distance from gate j to gate j'

D_{jo} - working distance from gate j to exit

D_{oj} - working distance from gate j to entrance

t_i^a - arrival time of flight i

t_i^d - departure time of flight i

위의 정식화 모델에서 X_{it} 의 변수는 i 항공편이 j 주기장에 대하여 t 시간에 배정되는지의 여부를 나타내며, $Y_{iij'}$ 의 변수는 i, i' 항공편이 j, j' 주기장에 각각 배정되는지의 여부를 나타낸다. 여기서 시간주기를 나타내는 t 인자와 이차계획문제를 선형계획문제로 변환하는 과정에서 두 항공편의 주기장 배정 조합을 나타내기 위한 y 변수로 인하여 의사결정변수 및 제약식의 수가 기하급수적으로 증가함을 볼 수 있다. 이는 기존의 선형계획문제에 대한 최적해를 산출하는데 많은 수행 시간을 발생시킴으로써 실제 공항의 주기장 배정에 활용되기가 매우 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 주기장 배정을 위하여 정식화된 선형계획문제를 최적화 소프트웨어를 통하여 풀어내는 과정에서 의사결정변수 및 제약식의 생성을 최소화할 수 있도록 모델링함으로써 최적해를 빠른 시간내에 산출할 수 있는 접근 방법을 제시하고자 한다.

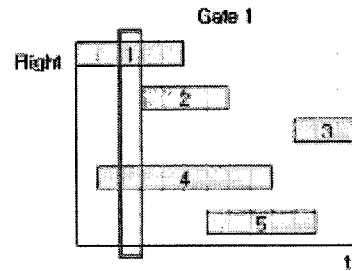
이러한 접근 방법은 크게 항공편마다 존재하는 예정된 배정시간 조건과 두 항공편간의 환승객 조건으로 나누어 볼 수 있다.

3.1 항공편의 배정시간 조건

항공편의 예정된 배정시간 조건은 대상이 되는 다중 시간주기의 주기장 배정문제의 경우 각 항공편들이 모든 시간주기에 배정 가능한 것이 아니라 이미 정해져 있는 시간주기에만 주기장에 배정이 가능하다는 점을 고려하여 주기장 사용 제약 조건을 생성함으로써 다중시간주기의 문제를 단일 시간주기의 문제로

변환할 수 있다. 이를 통하여 시간주기 인자 t 를 기존의 선형계획문제의 정식화 모델에서 제거함으로써 의사결정변수의 수를 급격히 감소시킬 뿐만 아니라 각 항공편이 예정된 주기장 배정 시간동안 동일 게이트를 연속적으로 사용할 수 있도록 보장하는 시간주기의 제약식을 제거함으로써 모델의 최소화 및 수행시간의 향상을 기대할 수 있다.

다음의 <그림 1>은 기존의 주기장 배정을 위한 정식화 모델과 본 연구에서 제시하고자 하는 각 항공편이 가지는 예정된 주기장 배정 시간을 고려한 정식화 모델을 비교한 그림이다.



기존 정식화 모델:

$$x_{11t} + x_{21t} + x_{31t} + x_{41t} + x_{51t} \leq 1$$

본 연구의 정식화 모델:

$$x_{1t} + x_{2t} \leq 1$$

<그림 1> 배정 시간을 고려한 모델의 비교

위의 최적화 모델에서 볼 수 있듯이 특정 시간주기에 배정 가능한 항공편의 의사결정변수들만으로 제약식을 구성함으로써 시간주기 인자 t 를 제거하더라도 생성된 제약식들이 각 항공편이 가지는 배정시간에 대한 조건을 보장할 수 있다. 이러한 과정을 통하여 기존의 주기장 배정문제는 다음과 같은 단일시간주기를 갖는 0-1 선형계획문제로 정식화할 수 있다.

$$\text{MIN } \sum_i \sum_j \sum_{i'} \sum_{j'} P_{iij'} D_{jj'} Y_{iij'} + \sum_j \sum_j (P_{io} D_{jo} + P_{oi} D_{oj}) X_{ij}$$

$$\text{s.t. } \sum_j X_{ij} = 1, \forall i$$

$$\sum_i X_{ij} \leq 1, \forall j$$

$$Y_{iij'} \geq X_{ij} + X_{i'j'} - 1, \forall i < i', j, j'$$

$$X_{ij} = 0 \text{ or } 1, \forall i, j$$

$$Y_{iij'} = 0 \text{ or } 1, \forall i < i', j, j'$$

다음의 <표 1>은 주기장 배정 문제에 대

한 기존의 정식화 모델과 본 연구에서 제시된 정식화 모델을 비교한 결과이다. 본 연구에서는 15대의 항공편을 5개의 주기장에 144개 시간주기 동안 배정하는 문제를 대상으로 정식화에 필요한 의사결정변수 및 제약식의 수를 비교하였다. 이와 함께 15대의 항공편 중 출·도착 시간에 대한 선후 관계를 고려한 30개의 환승객 정보가 포함되어 있다.

<표 2> 1단계 정식화 모델의 비교

항 목		기존 모델	연구 모델
변수 (개)	X	10,800	75
	Y	5,625	5,625
	전체	16,425	5,700
제약식(개)		8,881	6,361

이와 같이 본 연구에서 제시하는 최적화 모델의 경우 동일한 배정 모델을 대상으로 기존의 일반적인 정식화 모델에 비하여 의사결정변수 및 제약식의 생성을 크게 줄임으로써 모델의 크기를 최소화하였다. 또한 실제 공항의 경우 주기장 배정 기간이 일반적으로 일주일 정도임을 고려할 때 시간주기가 정식화 모델의 크기에 반영되는 것을 최소화하는 본 연구의 정식화 모델은 기존의 모델에 비하여 긴 시간주기를 갖는 배정문제의 개선율을 더욱 향상시킬 수 있다.

그러나 항공편의 배정시간 조건을 고려하여 시간주기 인자를 제거하는 정식화 모델의 경우에도 허브 공항에서 존재하는 환승객의 이동거리를 고려하기 위한 의사결정변수 Y 의 생성과 이로 인한 제약식의 추가적인 생성으로 인하여 항공편 및 주기장의 수가 증가함에 따라 의미있는 최적해의 수행 시간을 만족하지 못한다.

3.2 항공편간의 환승객 조건

본 연구에서는 또 하나의 접근 방안인 두 항공편간의 환승객 조건을 고려하고자 한다. 이는 실제로 존재하는 두 항공편간의 환승객 정보를 기초로 모든 항공편의 환승 정보를 의사결정변수로 정식화하는 기존의 선형계획문제에 비하여 생성되는 의사결정변수의 수와 이로 인한 제약식의 수를 급격히 감소시킴으로써 문제의 크기를 최소화하고 이를 통하여 의미있는 최적해의 수행시간을 기대할 수 있다.

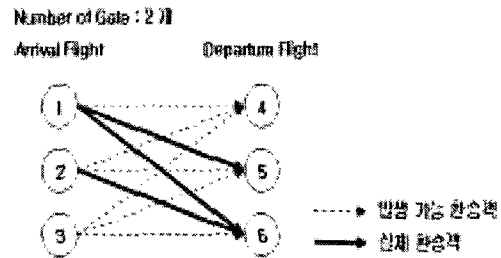
이와 같은 접근 방안은 실제 허브 공항의 두 항공편간 출·도착 시간만을 고려하더라도 문제의 크기를 크게 줄일 수 있다. 이는 두 항공편간의 선후 관계로 인하여 실제로 환승객이 발생할 수 없는 환승 정보에 대한 의사결

정변수를 모델의 생성시 미리 제거함을 의미한다.

또한 두 항공편간의 선후 관계가 환승객이 존재할 수 있는 경우라 하더라도 실제 환승객 정보를 기초로 해당 일자에 환승객이 존재하지 않는 환승 정보를 추가적으로 제거함으로써 환승 정보에 대한 의사결정변수 및 제약식을 최소화할 수 있다.

이는 기존의 정식화 모델의 크기가 항공편 및 주기장 수의 증가에 대하여 기하급수적으로 증가하는데 비하여 본 연구의 모델은 단지 실제로 존재하는 두 항공편간의 환승객 정보에만 영향을 받으므로 모델의 크기가 급격히 증가되는 것을 방지할 수 있다.

다음의 <그림 2>은 기존의 주기장 배정을 위한 정식화 모델과 본 연구에서 제시하고자 하는 두 항공편들간에 선후 관계 및 환승객 존재 여부를 고려한 정식화 모델을 비교한 그림이다.



기존 정식화 모델 :

Arrival Flight	Departure Flight	Variables	Total
1	4	$Y_{114}, Y_{115}, Y_{124}, Y_{125}$	36
1	5	$Y_{115}, Y_{116}, Y_{125}, Y_{126}$	
1	6	$Y_{116}, Y_{117}, Y_{126}, Y_{127}$	
2	4	$Y_{214}, Y_{215}, Y_{224}, Y_{225}$	
2	5	$Y_{215}, Y_{216}, Y_{225}, Y_{226}$	
2	6	$Y_{216}, Y_{217}, Y_{226}, Y_{227}$	
3	4	$Y_{314}, Y_{315}, Y_{324}, Y_{325}$	
3	5	$Y_{315}, Y_{316}, Y_{325}, Y_{326}$	
3	6	$Y_{316}, Y_{317}, Y_{326}, Y_{327}$	

본 연구의 정식화 모델 :

Arrival Flight	Departure Flight	Variables	Total
1	5	$Y_{115}, Y_{116}, Y_{125}, Y_{126}$	12
1	6	$Y_{116}, Y_{117}, Y_{126}, Y_{127}$	
2	6	$Y_{216}, Y_{217}, Y_{226}, Y_{227}$	

<그림 2> 환승객을 고려한 모델의 비교

다음의 <표 2>는 앞서 제시된 동일한 주

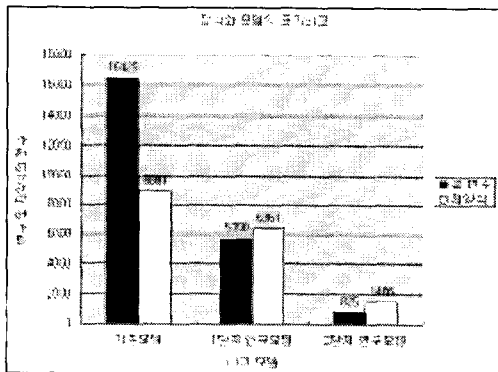
기장 배정 모델을 기초로 정식화 과정에서 발생하는 의사결정변수 및 제약식의 수를 비교하였다.

<표 3> 2단계 정식화 모델의 비교

항 목		기존 모델	연구 모델
변수 (개)	X	10,800	75
	Y	5,625	750
	전체	16,425	825
제약식(개)		8,881	1,486

위의 표에서 알 수 있듯이 실제 환승객이 존재하는 두 항공편간의 환승 정보만을 의사결정변수로 생성함으로써 단일 시간주기의 선형계획문제에서 해결하기 어려운 환승 정보의 의사결정변수 및 제약식의 수를 급격히 감소시키고 이를 통하여 허브 공항을 대상으로 한 최적 배정결과의 산출이 가능하다.

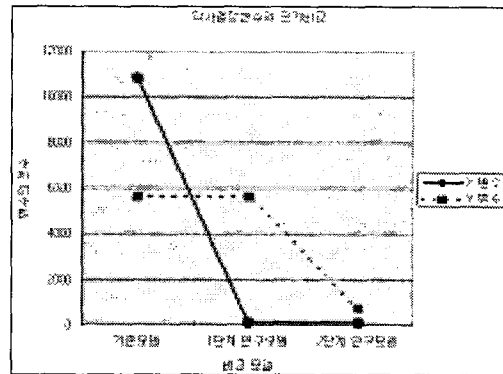
다음의 <그림 3>는 동일한 주기장 배정 문제에 대한 정식화 모델의 크기를 기존의 일반적인 정식화 모델과 본 연구에서 제시하는 항공편별 배정시간 조건 및 환승객 조건을 고려한 정식화 모델의 크기를 비교한 결과이다.



<그림 3> 단계별 정식화 모델의 크기 비교

그림에서와 같이 본 연구에서 제시한 정식화 모델의 경우 기존의 모델과 비교하여 각 단계별로 총 의사결정변수는 65.3%, 94.9%의 감소를 나타내고 있으며, 제약식의 경우에도 각각 28.4%, 83.3%의 감소를 나타내고 있다. 이러한 결과는 동일한 주기장 배정 문제를 대상으로 모델의 크기가 약 1/10 이상 감소되었음을 의미하며 이를 통하여 최적해의 수행시간을 급격히 단축할 수 있다.

다음의 <그림 4>는 각각의 정식화 모델에 대한 의사결정변수의 크기를 비교한 결과이다.



<그림 4> 단계별 의사결정변수의 크기 비교

실제로 환승객이 거의 존재하지 않는 국내선 공항의 경우 1단계의 연구모델의 적용을 통하여 탑승교 주기장 및 원격 주기장의 배정 결과를 빠르게 산출할 수 있으며, 국제적인 대형 허브 공항의 경우 2단계의 연구모델을 함께 적용함으로써 환승객을 고려한 최적의 배정 결과를 의미있는 수행시간 내에 얻어낼 수 있다.

4. 배정 결과의 비교 - 분석

본 연구에서는 국내 공항의 일일 항공편 운항정보 및 사용 가능한 주기장 정보를 기초로 단계별 정식화 모델의 배정결과 및 수행시간을 비교·분석하고자 한다. 이를 위하여 국내 K 항공사의 일일 항공편 운항정보 및 인천국제공항의 주기장 정보를 수집하고 이를 데이터베이스로 구축하여 주기장 배정 모델의 입력 자료로 활용하였다. 본 연구의 주기장 배정에 사용된 문제에 대한 기초 정보는 다음의 <표 4>과 같다.

<표 4> 대상 문제의 기초 정보

항 목	내 용
항공편	83편
주기장	5개
환승정보	50개
시간주기	288개

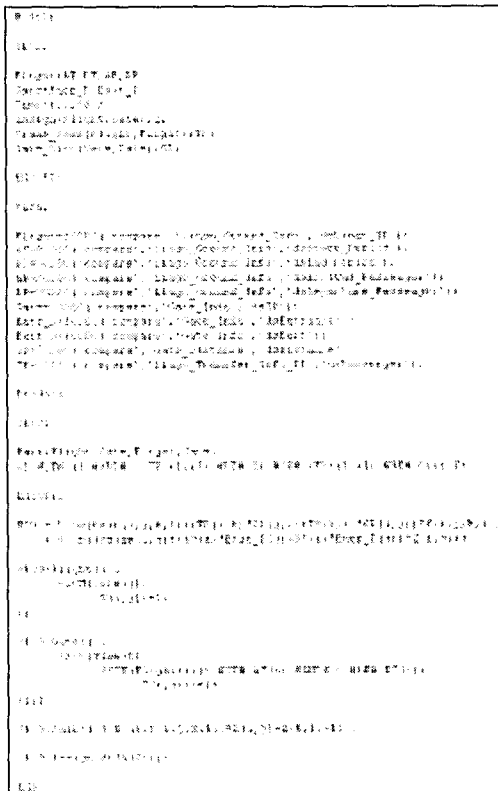
이와 같은 일일 항공편 및 주기장을 대상으로 K 항공사의 일일 운항정보에 대한 항공편별 주기장 배정시간 정보, 로컬 및 환승객 정보, 그리고 인천국제공항의 주기장 거리 정보를 생성하고 이를 기초로 기존의 주기장 배정 모델과 본 연구에서 제시된 모델에 각각 적용함으로써 그 수행결과를 비교하였다.

다음의 <표 4>는 동일한 주기장 배정 문제에 대한 정식화 모델의 크기를 비교한 결과이며, 실제 공항의 정보를 대상으로 하는 경우 기존 정식화 모델의 크기는 기하급수적으로 증가함을 볼 수 있다.

<표 5> 대상 문제에 대한 정식화 모델의 비교

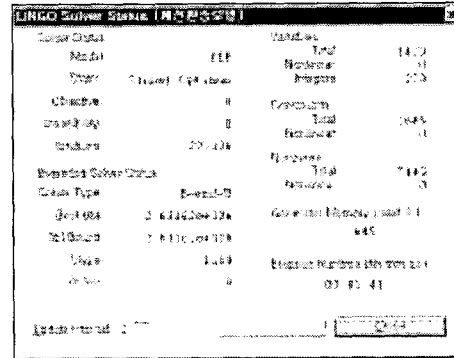
항목	변수 (개)	제약식 (개)
기존 모델	150,660	91,888
연구 모델	1단계	73,170
	2단계	1,420
		74,395
		2,645

본 연구에서는 정식화 모델에 대한 최적해를 산출하고 그 수행시간을 측정하기 위하여 최적화 소프트웨어인 LINGO를 사용하여 그 결과를 분석하였다. 다음의 <그림 5>는 본 연구의 2단계 정식화 모델에 대한 LINGO의 구축 모델을 보여주고 있으며, 최적화 소프트웨어의 다양한 기능을 활용함으로써 대상 모델을 생성하는 과정에서 문제의 크기를 최소화할 수 있다.



<그림 5> 최적화 소프트웨어의 구축 모델
이와 같은 최적화 소프트웨어의 구축 모

델을 활용하여 대상 문제에 대한 기존 정식화 모델 및 1단계, 2단계의 개선된 정식화 모델을 구축하였다. 다음의 <그림 6>은 위의 2단계 구축 모델에 대한 최적화 소프트웨어의 수행 결과를 나타낸 화면이다.



<그림 6> 최적화 소프트웨어의 수행 결과

본 연구에서는 각각의 정식화 모델을 최적화 소프트웨어를 활용하여 최적해를 산출하였으며, 각 모델에 대하여 소요된 수행시간을 비교한 결과는 다음의 <표 5>와 같다. 결과에서 보듯이 모든 정식화 모델이 동일한 주기장 배정 결과 및 총 승객의 이동거리를 산출하였으나, 최적해의 산출에 소요된 수행시간은 각 모델별로 큰 차이를 나타내고 있다.

<표 6> 총 이동거리 및 수행시간의 비교 결과

항목	총 이동거리	수행시간
기존 모델	2,631,621	5시간 21분 35초
연구 모델	1단계	45분 14초
	2단계	1분 41초

이와 같이 다중 시간주기를 갖는 주기장 배정 모델에서 환승객을 고려한 승객의 총 이동거리를 최소화하기 위한 기존의 정식화 모델은 최적해를 산출하는데 너무 긴 수행시간이 소요됨을 알 수 있으며 이러한 이유로 실제 공항의 주기장 배정에 활용되지 못하고 있다. 또한 각 항공편의 예정된 배정시간을 고려하여 문제의 크기를 감소시킨 1단계 정식화 모델의 경우 기존 모델에 비하여 최적해의 수행시간을 크게 감소시켰다. 그러나 일일 또는 주간 배정 계획뿐만 아니라 갑작스럽게 발생되는 주기장 및 항공편 상황으로 인하여 배정 계획의 수정 및 재배정이 수행되어야 하는 상황에서 이러한 소요시간은 큰 부담으로 작용될 수 있다.

이에 비하여 본 연구에서 궁극적으로 제시하고자 하는 환승객 정보를 고려한 2단계 정식화 모델의 경우 문제 크기의 최소화를 통한 매우 적은 소요시간을 확인할 수 있으며, 이러한 수행 결과를 통하여 실제 공항의 주기장 배정 계획 수립뿐만 아니라 빠른 시간내에 배정 결과를 산출하여야 하는 주기장의 재배정에도 적용될 수 있다.

5. 결론 및 추후연구과제

본 연구에서는 다중 시간주기를 갖는 주기장 배정 모델을 대상으로 환승객을 고려한 승객의 이동거리를 최소화하기 위한 선형계획 문제의 개선된 정식화 모델을 제시하고, 이를 위한 최적화 소프트웨어의 모델을 구축하였다. 또한 이를 실제 국내 공항의 일일 운항편 정보 및 사용 가능한 주기장 정보를 기초로 정식화 모델을 적용함으로써 주기장의 배정 결과를 기존의 정식화 모델과 비교·분석하였다.

이를 위하여 정식화 모델의 크기를 급격히 증가시키는 시간주기 인자를 정식화 모델에서 제거하고 다중 시간주기를 갖는 주기장 배정 문제의 기존 정식화 모델을 단일 시간주기를 갖는 정식화 모델로 구축함으로써 문제의 크기를 크게 감소시켰다. 또한 허브 공항의 환승객 이동거리를 고려하기 위한 정식화 모델에서 생성되는 환승 정보에 대한 의사결정 변수를 실제 환승객이 존재하는 두 항공편간의 변수만으로 생성함으로써 기존 정식화 모델에 비하여 문제의 크기를 최소화하고 최적해를 계산하는데 소요되는 시간을 크게 줄일 수 있는 접근방법을 제시하였다.

이러한 접근 방법은 기존의 정식화 모델을 통한 접근방법이 가지는 긴 수행시간의 단점을 해결하고 나아가 전문가 시스템 및 휴리스틱 접근방법이 가지는 장점을 함께 고려할 수 있으며, 나아가 실제 공항을 대상으로 한 주기장 배정 모델에 적용하여 실시간 의사결정을 위한 최적의 배정 계획 및 빠른 재배정 결과를 제공할 수 있을 것이다. 또한 현재 국내 공항에서 발견적 기법 및 주기장 배정 규칙만으로 수행되는 주기장 배정 방식에 개선된 정식화 모델에 의해 구축된 최적화 소프트웨어의 모듈을 적용함으로써 다양한 배정규칙 및 제한조건을 만족하는 최적화된 주기장 배정 결과를 빠른 시간 내에 산출할 수 있다. 이는 공항의 중요한 운영 목표인 항공사 및 여객의 시간과 비용을 최소화함은 물론 기상 악천후로 인한 항공편의 이·착륙 지연, 주기장의 유지·보수 등 복잡한 주기장 배정 문제에 신속히 적용함으로써 공항 운영의 효율성뿐만 아니라 공항 안전에도 크게 기여할 수 있을 것이다.

추후연구과제로는 다양한 공항의 운영 규칙을 기존의 정식화 모델에 추가함으로써 실

제 공항의 주기장 운영을 보다 정확히 반영할 수 있는 최적의 주기장 배정 결과를 산출하고, 생성된 배정 결과를 기초로 주기장을 관리·운영하기 위한 의사결정지원 시스템을 제공함으로써 보다 쉽게 주기장 배정 계획 및 재배정 결과의 조회 및 활용을 기대할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 김연명, 김준현, "공항의 항공기 주기장 배정을 위한 알고리즘 개발 및 적용에 관한 연구", 교통개발연구원, 2001.
- [2] 이희남, 김연명, 이공섭, 이창호, "공항터미널 주기장 배정의 최적화에 대한 연구", 안전경영과학회지, Vol. 4 4, pp. 129~136, 2002.
- [3] Babic O., Teodorovic D., Tasic V., "Aircraft stand assignment to minimize walking", *Journal of Transportation Engineering* 110(1), pp. 55~106, 1984.
- [4] Bihl R., "A conceptual solution to the aircraft gate assignment problem using 0,1 linear programming", *Computer & Industrial Engineering* 19(1~4), pp. 280~284, 1990.
- [5] Chen M. C., "Optimizing gate assignment at airport terminals", M.S. Thesis, University of Maryland at College Park, 1995.
- [6] Haghani A., Chen M. C., "Optimizing gate assignment at airport terminals", *Transportation Research Part A*, Vol. 32, pp. 437~454, 1998.
- [7] Lam S. H., "Intelligent airport gate assignment system", *The 5th ATRG World Conference proceedings*, 2001.
- [8] Mangoubi R. S., Mathaisel D. F. X., "Optimizing gate assignments at airport terminals", *Transportation Science* 19(2), pp. 173~188, 1985.
- [9] Srihari K., Muthukrishnan R., "An expert system methodology for an aircraft gate assignment", *Computer & Industrial Engineering* 21(1~4), pp. 101~105, 1991.