

# LINGO을 활용한 공항터미널 주기장 배정의 최적화에 대한 연구

## Optimizing Gate Assignment at Airport Terminal Using LINGO

이 희 남\*(HeeNahm, Lee), 이 공 섭\*\*(KongSeob, Lee), 이 창 호\*(ChangHo, Lee)

### Abstract

국내 공항에서 보유하고 있는 제한된 주기장에 대한 이용률과 주기되어 있는 항공기의 탑승에 소요되는 시간 및 도보거리는 공항의 운영 및 승객의 편리성 평가에 주요한 척도가 되고 있으며, 공항의 주요 운영 목표는 합리적인 항공기 주기장 배정을 통한 주기장 이용률의 최대화 및 터미널 이용 승객의 편리성 증대라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 대상 공항의 시설배치, 터미널 구조, 공항의 이용 승객 등을 고려하여 사용 가능한 주기장의 이용률의 최대화하고 터미널에서의 여객 이동거리를 최소화하는 주기장 배정 알고리즘의 개발과 그 결과를 국내 공항에 적용시키는 것을 그 목적으로 한다.

이를 위하여 기존의 GAP 정식화 모델을 최적화 소프트웨어인 LINGO를 활용하여 다중 시간 주기를 갖는 복잡한 문제를 단일 시간주기를 갖는 문제로 변환하기 위한 접근 방법을 제시함으로써 기존의 OR 접근 방법이 가지는 최적해 산출을 위한 긴 소요시간의 문제를 해결하고 실제 공항에 적용하여 실시간 의사결정을 위한 배정 결과를 제공하였다.

본 연구를 통하여 현재 발견적 기법에만 의존하여 수행되는 주기장 배정결과를 최적화 알고리즘을 통하여 산출함으로써 공항의 주요한 운영 목표인 항공사 및 여객의 시간 비용을 최소화할 수 있다. 또한 기상 악천후로 인한 항공기의 이착륙 지연이 발생할 경우 복잡한 문제를 배정 알고리즘에 의해 신속히 해결함으로써 공항 운영의 효율성뿐만 아니라 공항 안전에도 기여할 수 있을 것이다.

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

GAP(Gate Assignment Problem)은 항공사들의 항공기 운항 스케줄에 따라 공항에서 출·도착 예정인 항공기에 대해 탑승교 주기장을 배정하는 아주 간단하게 이해할 수 있는 문제이다. 그러나 항공기를 상대적으로 부족한 탑승교 주기장에 효율적으로 배정하기 위해서는 각 항공기의 운항 스케줄 정보, 항공기의 기종, 탑승교 주기장의 특성, 항공사 및 공항의 요구 조건 등 다

\* 인하대학교 산업공학과

\*\* 유한대학 산업시스템경영과

양한 제약 조건을 만족시켜야만 한다. GAP는 이러한 공항의 관리 사정, 항공기에 대한 부대 환경 등의 여러 가지 복잡한 인적·물적 요소들이 밀접하게 연관되어 있어 여기에 따르는 제약 조건을 고려하며 항공기를 탑승교 주기장에 할당하여야 하는 매우 어려운 난제로 자리잡고 있다.

이러한 중요한 난제인 GAP는 NP-Hard 계열의 문제로 정수계획법, 시뮬레이션, 전문가 시스템 등 다양한 접근 방법으로 최적해를 구하고자 노력하고 있다. 그러나 최적해와 시간이라는 두 가지 조건을 모두 만족시키는 것은 더욱 어려운 문제가 된다. 공항에서는 탑승교 주기장 이용에 관한 일일 배정 계획을 수립하는데 오랜 시간이 소요되는데 비하여 기상 악화, 탑승교 주기장의 예상치 못한 고장, 항공기의 결항 및 지연 등 변동의 우려가 상당히 높다. 따라서 GAP는 최적해를 구하는 것도 중요하지만 빠른 시간에 해를 구해냄으로써 이러한 상황에 신속히 대응할 수 있어야 한다. 이를 통하여 비싼 항공 요금을 지불하는 승객들의 불만을 최소화하고 공항 운영의 손실을 줄일 뿐만 아니라 항공 안전에도 기여할 수 있을 것이다.

## 1.2 문제의 정의

본 연구에서는 국내 대형 공항을 대상으로 공항의 시설배치, 터미널 구조, 공항의 이용 승객 등을 고려하여 이용 가능한 탑승교 주기장의 이용률을 최대화하고 터미널 이용승객의 이동거리를 최소화하는 배정 결과를 도출하기 위한 주기장 배정 알고리즘을 개발하는 것을 목적으로 한다.

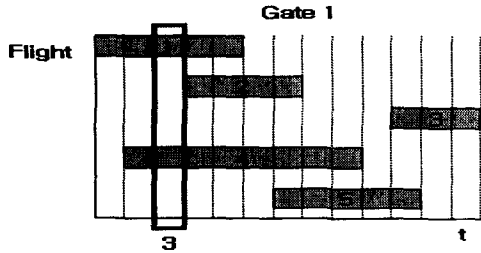
이를 위하여 국내 실정에 맞도록 현행 주기장 관리 규정을 참고하여 항공사의 전용사용 및 혼용사용 방식에 따른 제약조건, 항공기종별 탑승교 주기장 배정 조건, 탑승교 주기장의 이용 시간에 대한 조건 등을 만족하는 주기장 배정 문제를 정식화하고 기존 연구의 정식화 모델을 최적화 소프트웨어인 LINGO를 활용하여 개선함으로써 빠른 시간에 최적해를 구하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 문제의 정식화

기존의 주기장 배정 문제는 항공기, 탑승교 주기장, 시간주기의 3차원 정보를 갖는 의사결정 변수를 이용하여 정수계획법으로 정식화하는 것이 일반적이다. 이러한 기존의 정식화 모델에서  $x_{ijt}$ 의 변수는  $i$  항공기가  $t$  시간대에  $j$  탑승교 주기장에 배정되는지의 여부를 나타내며, 각 항공기 및 탑승교 주기장에 대한 모든 시간주기 동안의 배정 가능성을 고려하게 됨으로써 의사결정변수 및 제약식의 수가 급격히 증가하게 된다. 그러나 실제  $i$  항공기의 경우 모든 시간주기  $t$ 에 대하여 고려할 필요는 없으며 각 항공기가 가지고 있는 주기 예정 시간만을 고려하여 특정 탑승교 주기장의 배정 여부를 결정할 수 있다.

본 연구에서는 최적화 소프트웨어인 LINGO를 활용하여 각 항공기별 주기 예정 시간만을 고려한 정식화 모델을 작성함으로써 기존의 정식화 모델에서 사용하는 시간주기  $t$ 에 대한 인자의 의사결정변수에서 제거하고 이를 통하여 최적해를 계산하는 시간을 급격히 감소시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

다음의 <그림 1>은 기존의 주기장 배정을 위한 정식화 모델과 본 연구에서 제시하고자 하는 정식화 모델을 비교한 그림이다.



기존의 정식화 모델

$$: x_{113} + x_{213} + x_{313} + x_{413} + x_{513} \leq 1$$

본 연구의 정식화 모델

$$: x_{11} + x_{41} \leq 1$$

<그림 1> 정식화 모델의 비교

본 연구에서는 단일 시간주기를 고려한 주기장 배정문제의 정식화 모델을 활용하여 둘 이상의 시간주기를 갖는 문제에 적용하기 위한 방법론을 제시함으로써 기존 OR 기법의 접근 방법이 가지는 최적해를 구하는데 소요되는 긴 계산 시간에 대한 단점을 해결할 뿐만 아니라 다양한 공항 및 항공사의 제약 조건들을 정식화 단계에 추가적으로 고려함으로써 지식기반의 전문가 시스템 접근방법이 가지는 다양한 운영 방식의 적용이 가능하다. 다음은 본 연구에서 제시하는 정식화 모델이다.

$$Max \sum_i \sum_j C_i x_{ij} - \sum_i P_i d_i$$

$$s.t \sum_j x_{ij} + d_i = 1, \forall i$$

$$\sum_i x_{ij} \leq 1, \forall j, t_i^a \leq t \leq t_i^d$$

$$and \ x_{ij} = 0 \text{ or } 1, d_i = 0 \text{ or } 1, \forall i, j$$

Where  $x_{ij}$  : 1 if flight  $i$  is assigned to gate  $j$ , otherwise 0

$d_i$  : 1 if flight  $i$  is not assigned, otherwise 0

$C_i$  :  $t_i^d - t_i^a$

$P_i$  : Total number of passengers of flight  $i$

이러한 개선된 정식화 모델을 국내 공항의 부족한 탑승교 주기장 운영 상황에 적용하기 위하여 본 연구에서는 두 가지의 단계별 접근 방법을 제안하고자 한다. 우선 일일 공항에 배정 가능한 모든 항공기를 대상으로 탑승교 주기장의 이용률을 최대화하기 위한 배정 결과를 계산하고 이를 통하여 보장된 가능해를 기초로 승객의 이동거리를 최소화하는 개선된 배정결과를 산출하게 된다.

다음의 <표 1>은 주기장 배정 문제에 대한 기존의 정식화 모델과 본 연구에서 제시된 정식화 모델을 비교한 결과이다. 본 연구에서는 160대의 항공기를 8개의 탑승교 주기장에 210개 시간주기 동안 배정하는 문제를 대상으로 정식화에 필요한 변수 및 제약식의 수를 비교하였다. 또한 기존의 정식화 모델과 본 연구에서 제시한 정식화 모델을 최적화 소프트웨어를 통하여 최

적해를 계산하고 이에 대한 소요 시간을 비교하였다.

<표 1> 정식화 모델의 비교

비교 항목	기존의 정식화 모델	본 연구의 정식화 모델
변수의 수(개)	263,960	1,440
제약식의 수(개)	56,769	1,841
소요 시간	1시간 11분 57초	12초

### 3. Case Study

#### 3.1 Case I : 김포공항 제1청사

본 연구에서는 김포공항 국내선이 2001년 11월 국제선 제1청사로 이전함에 따라 김포공항 국제선 제1청사를 대상으로 주기장 배정을 수행하고 이에 대한 배정결과를 국내선 청사의 배정결과와 비교·분석하였다. 새롭게 이전한 국제선 제1청사의 경우 국제선 항공기가 주기되던 관계로 국내선의 모든 항공기종에 대한 이용제한이 존재하지 않으며 K 항공의 전용 탑승교 주기장 수도 5개로 늘어나게 되었다.

따라서 앞서 수행한 국내선 청사에 대한 기초자료 및 주기장 배정규칙을 수정하고 이를 주기장 배정 알고리즘에 적용함으로써 새롭게 이전한 국제선 제1청사에 대한 모의 배정 및 결과 분석을 수행하였다. 본 사례 분석을 통하여 얻어진 최적의 탑승교 주기장 배정결과는 다음의 <표 2>과 같다.

<표 2> 김포공항 국제선 제1청사의 탑승교 주기장 배정결과 분석

비교 항목	실제 배정결과	본 연구의 배정 결과	
		국내청사	국제 제1청사
탑승교 배정 항공편 수(편)	59	72	116
탑승교 배정율(%)	31.7	38.7	62.4
평균 탑승교 이용률(%)	57.3	74.1	78.5

위의 표에서 알 수 있듯이 국내선 청사의 배정결과와 비교해 볼 때 탑승교 배정 운항편 수는 116편으로 44편 증가하였으며 탑승교 배정율도 23.7% 증가한 62.4%가 되었으며, 평균 탑승교 이용률 역시 4.4% 증가한 78.5%로 나타났다.

또한 탑승교 주기장 배정결과에 대한 지역승객의 터미널 이동거리를 단계별로 비교해 보면 다음의 <표 3>과 같다. 탑승교 주기장 이용률 최대화와 비교해 볼 때 지역승객 이동거리 최소화 단계에서는 승객의 터미널 이동거리가 9.6% 감소되었음을 알 수 있다.

<표 3> 김포공항 국제선 제1청사의 승객 이동거리에 대한 단계별 배정 결과

비교 항목	Step 1	Step 2	개선율
	주기장 이용률 최대화	승객 이동거리 최소화	
승객의 터미널 이동거리 (m)	5,176,821	4,679,020	9.6 %

### 3.2 Case II : 인천국제공항

본 연구에서는 인천국제공항을 이용하는 K 항공사의 운항정보를 대상으로 주기장 배정 알고리즘을 적용하였으며, 본 연구의 탑승교 주기장 배정 알고리즘을 통하여 얻어진 단계별 배정결과를 비교·분석하면 다음의 <표 4>와 같다. 이를 통하여 알 수 있듯이 탑승교 주기장 이용률 최대화 단계와 비교해 볼 때 터미널 승객의 도보거리 최소화 단계에서는 승객의 터미널 이동거리가 7.6% 감소되었음을 알 수 있다.

<표 4> 인천국제공항의 승객 이동거리에 대한 단계별 배정결과

비교 항목	평균 주기장 이용률(%)	배정된 운항편수(편)	승객의 이동거리(m)	개선율(%)
주기장 이용률의 최대화	42.6	69	4,577,775	-
승객 이동거리의 최소화	42.6	69	4,228,260	7.6%

## 4. 결론 및 추후연구과제

본 연구에서는 제한된 탑승교 주기장에 대한 이용률을 최대화하고 동시에 터미널 이용승객의 이동거리를 최소화할 수 있는 주기장 배정 문제에 대한 개선된 정식화 모델을 개발하고 이를 실제 국내공항의 항공사 정보를 기초로 적용함으로써 탑승교 주기장의 배정 결과를 비교·분석하였다. 이를 위하여 둘 이상의 시간주기를 갖는 GAP 문제의 기존 정식화 모델을 최적화 소프트웨어인 LINGO를 활용하여 단일 시간주기를 갖는 정식화 모델로 표현함으로써 문제의 크기를 최소화하고 최적해를 계산하는데 소요되는 시간을 급격히 줄일 수 있는 접근방법을 제시하였다.

이러한 접근 방법은 OR 접근방법이 가지는 단점을 해결하고 나아가 전문가 시스템 접근방법이 가지는 장점을 함께 고려할 수 있으며, 실제 공항을 대상으로 한 탑승교 주기장 배정 모델에 적용하여 실시간 의사결정을 위한 최적의 배정결과를 제공할 수 있다. 또한 현재 국내 공항에서 발견적 기법 및 주기장 배정 규칙만으로 수행되는 탑승교 주기장 배정을 정식화 모델에 의해 구축하여 적용함으로써 다양한 배정규칙 및 제한조건을 만족하는 최적화된 탑승교 주기장 배정결과를 산출하였다.

따라서 이러한 최적의 주기장 배정 알고리즘은 공항의 중요한 운영 목표인 항공사 및 여객의 시간비용을 최소화함은 물론 기상 악천후로 인한 항공기의 이·착륙 지연이나 탑승교의 유지·보수가 발생하는 경우 등 복잡한 탑승교 주기장 배정 문제에 신속히 적용함으로써 공항 운영의 효율성뿐만 아니라 공항 안전에도 기여할 수 있을 것이다.

추후연구과제로는 탑승교 주기장에 대한 배정 모델을 원격 주기장의 최적 배정을 위한 모델로 확장함으로써 원격 주기장을 이용하는 승객에 대한 터미널 이용시간을 최소화하고 공항 운영요원을 위한 의사결정지원 시스템을 제공함으로써 보다 쉽게 배정 결과를 조회하고 활용할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Babic O., Teodorovic D., Tosic V., 「*Aircraft stand assignment to minimize walking*」, [2] Journal of Transportation Engineering 110(1), pp. 55~106, 1984
- [3] Mangoubi R. S., Mathaisel D. F. X., 「*Optimizing gate assignments at airport terminals*」, Transportation Science 19(2), pp. 173~188, 1985
- [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] Bolat A., 「*Procedures for producing robust gate assignments for arriving aircrafts*」, European Journal of Operation Research, Vol. 120, pp. 63~80, 2000
- [8] Yan S., Huo C. M., 「*Optimization of multiple objective gate assignment*」, Transportation Research Part A, Vol. 35, pp. 413~432, 2001