

공항의 신뢰성 향상을 위한 최적 주기장 배정과 운영지원시스템  
Optimizing Gate Assignment and Operation Support System for  
Reliability Improvement of Airport

이 회 남\*  
HeeNahm, Lee  
이 창 호\*\*  
ChangHo, Lee

Abstract

This study develops a improved gate assignment algorithm and decision support system using its algorithm to extract a assignment result minimizing a walking distance of passengers in airport and maximizing the utilization rate of available gates in domestic airports. By operation support system, it may contribute greatly in efficient enlargement of airport operation and increase the airport reliability through quickly coping with takeoff and landing delay of flight due to weather change, preservation and repair of gate, etc. Also, passengers who use airport terminal can minimize time and walking distance for departure, arrival, and transit, and it may greatly reduce the additional operation cost for common gates through maximizing the utilization rate for exclusive usage gates for airplanes which use gates.

1. 서 론

환승객을 고려한 주기장 배정문제(Gate Assignment Problem ; GAP)는 모델의 정식화 과정에서 발생하는 많은 의사결정변수와 제약조건으로 인하여 최적해를 산출하기 매우 어려운 난제로 자리잡고 있으며, 기존의 많은 연구에서는 최적해의 산출이 아닌 공항에서 사용되는 다양한 배정 규칙을 이용한 규칙 기반의 전문가 시스템이나 발견적 기법을 통하여 최적해에 가까운 가능해를 빠른 시간에 도출할 수 있는 접근 방안을 제시하고 있다. 국내 대형 공항의 경우에도 주기장 운영 요원의 수작업에 의한 경험적인 주기장 배정 방식이나 공항 공단에서 제시하고 있는 배정 규칙을 기초로 한 주기장 배정 시스템을 사용함으로써 다양한 공항의 운영 목표를 만족하는 효율적인 배정 시스템

\* 브레인트러스트

\*\* 인하대학교 산업공학과 교수

의 운영이 미흡한 상황이다. 이에 본 연구에서는 최적해를 빠른 시간에 도출할 수 있는 개선된 정식화 모델을 제시하고 이를 기존의 정식화 모델, 발견적 기법 및 국내 대형 공항의 실제 주기장 배정 결과와 비교·분석하는 것을 그 주된 목적으로 한다. 또한 국내 실정에 맞는 현행 주기장 관리 규정을 참고하여 주기장 우선 배정방식, 주기장 제약 조건 등을 포함하는 주기장 운영 지원시스템을 개발하고자 한다.

## 2. 배정 알고리즘의 개발

본 연구에서는 기존의 다중시간주기를 갖는 이차배정문제를 단일시간주기의 선형계획문제로 변환함으로써 정식화 과정에서 발생하는 많은 의사결정변수 및 제약조건들을 최소화하고 최적해를 빠른 시간에 도출할 수 있는 정식화 모델을 구축하고자 한다. 이를 위하여 기존의 다중시간주기의 주기장 배정 문제를 최적화 소프트웨어를 활용하여 단일시간주기로 변환하고 이를 통하여 최적해를 산출할 수 있는 접근 방법을 제시하였다. 이는 다중시간주기를 갖는 주기장 배정문제의 경우 각 항공편들이 모든 시간주기에 배정 가능한 것이 아니라 이미 정해져 있는 시간주기에만 주기장에 배정이 가능하다는 점을 고려하여 주기장 사용에 대한 제약 조건을 생성함으로써 다중시간주기의 문제를 단일시간주기의 문제로 변환하고, 시간주기 인자  $t$ 를 기존의 정식화 모델에서 제거하여 의사결정변수 및 제약식의 수를 급격히 감소시킴으로써 모델 크기의 최소화 및 수행시간의 단축을 기대할 수 있다. 또한 공항의 환승객 이동경로를 분석함으로써 주기장 배정을 위한 개선된 접근 방안을 제시하였다. 이는 공항의 환승객 이동경로를 환승보안검색장을 중심으로 한 도착 경로와 출발 경로로 분리함으로써 환승객을 포함한 전체 승객의 이동거리 최소화 모델을 이차계획문제가 아닌 선형계획문제로 정식화 모델을 구축하고자 한다. 이를 통하여 도착 및 출발을 위하여 주기장에 배정된 특정 항공기가 환승을 위한 다른 항공기의 주기장 배정 여부에 관계없이 지역 및 환승객의 이동거리를 산출함으로써 본 연구의 최적화 기법을 통한 배정 결과 산출에 소요되는 수행 시간을 급격히 감소시킬 수 있다. 이러한 과정을 통하여 환승객을 포함하는 출·도착 항공편에 대한 승객의 이동거리 최소화 모델을 다중시간주기의 이차계획문제가 아닌 다음과 같은 단일시간주기의 선형계획문제로 정식화 모델을 구축하였다.

$$\text{MIN } \sum_i \sum_j (P_{oi}D_{ik} + P_{ij}D_{jk} + P_{oi}D_{oj} + P_{sj}D_{oj})X_{ij}$$

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

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

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

$P_{oi}$  - 운항편 i에서 출입구 o로 이동하는 승객의 수

$P_{ij}$  - 운항편 i에서 환승보안검색장 s로 이동하는 승객의 수

$P_{oi}$  - 출입구 o에서 운항편 i로 이동하는 승객의 수

$P_{sj}$  - 환승보안검색장 s에서 운항편 j로 이동하는 승객의 수

$D_{io}$  - 주기장 j에서 출입구 o까지의 이동거리

$D_{js}$  - 주기장 j에서 환승보안검색장 s까지의 이동거리

$D_{oj}$  - 출입구 o에서 주기장 j까지의 이동거리

$D_{sj}$  - 환승보안검색장 s에서 주기장 j까지의 이동거리

$X_{ij}$  - 만약 운항편 i가 주기장 j에 배정된다면 1, 그렇지 않다면 0

본 연구에서 제시한 개선된 정식화 모형의 타당성을 검토하기 위하여 임의의 배정 모형을 선정하고 이를 기존의 발견적 기법 및 본 연구의 개선된 이차배정문제의 주기장 배정 결과와 비교·분석을 수행하였으며 이에 대한 최적해 및 수행시간을 비교해보면 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 비교 사례별 총 이동거리 및 수행 시간의 비교

비교 사례	발견적 기법		개선 모델 I (단일시간주기의 이차배정모델)		개선 모델 II (단일시간주기의 선형계획모델)	
	이동거리	수행시간	이동거리	수행시간	이동거리	수행시간
I	705,625 m	25분 57초	582,259 m	1초	582,259 m	1초
II	665,855 m	1시간 08분 06초	532,919 m	5초	532,919 m	1초
III	610,033 m	2시간 32분 28초	468,761 m	6초	468,761 m	1초
IV	Not Found	2시간 58분 45초	1,126,205 m	34초	1,126,205 m	1초
V	1,271,383 m	6시간 53분 43초	1,085,799 m	2시간 53분 05초	1,085,799 m	2초
VI	N/A	N/A	1,430,092 m	2시간 34분 45초	1,430,092 m	2초
VII	N/A	N/A	1,041,687 m	30시간 47분 38초	1,041,687 m	3초

위의 결과에서 볼 수 있듯이 가장 크기가 적은 비교 사례의 경우 기존 발견적 기법의 수행 결과는 승객의 총 이동거리 및 수행시간에서 본 연구의 개선 모델들과 상당한 차이를 보이고 있다. 이는 배정 가능한 주기장 및 배정되어야 하는 항공기의 수가 늘어남에 따라 최적해를 산출할 수 있는 확률이 급격히 감소하고 알고리즘에 참여하는 의사결정변수의 수가 증가함으로써 의미있는 시간 내에 배정 결과를 도출하기 매우 어려운 상황이다. 또한 본 연구의 개선 모델 I의 경우 모든 사례에 대한 최적해를 산출하였으나 배정 문제의 크기가 증가함에 따라 배정 결과의 산출에 소요되는 시간이 기하급수적으로 증가함을 알 수 있다. 이에 비하여 정식화 모형의 크기가 급격히 증가되지 않는 개선 모델 II의 경우 매우 빠른 시간 내에 모든 배정 문제에 대한 최적해를 산출하였으며 그 결과는 기존의 이차배정문제의 개선된 정식화 모형과 모두 일치하였다.

이러한 결과 비교 및 분석을 통하여 환승객을 고려한 주기장 배정 문제에 있어 총 승객의 이동거리를 최소화하는 최적의 주기장 배정을 산출하기 위하여 기존의 이차배정 문제를 활용한 최적화 접근방법이 아닌 실제 공항에서 이루어지는 환승객의 이동경로를 분석하여 구축된 분리 모델의 선형계획문제를 활용한 최적화 접근방법이 사용 가능하며, 이를 통하여 실제 공항에 대한 최적의 일일 주기장 배정 및 주간/월간 주기장 배정 결과를 매우 빠르게 산출하고 이를 활용할 수 있을 것이다.

### 3. 배정 알고리즘의 적용 및 분석

본 연구에서는 인천국제공항의 K 항공 운항정보를 대상으로 주기장 배정 모델에 대한 정식화 모델을 적용하였다. 이를 위하여 현재 인천국제공항의 주기장 배정규칙을 입력하고 특정기간 동안의 항공편 운항 스케줄과 연결정보를 기초로 일일 주기장 배정 결과를 산출하고 이를 실제 배정 결과와 비교·분석하고자 한다. 인천국제공항의 경우 총 41 개의 탑승교 주기장을 보유하고 있으며 국내 항공사 및 외국 항공사를 대상으로 우선 배정방식을 운영하고 있다. 또한 국내 항공사의 우선 배정 탑승교 주기장에 대한 두 항공사별 전용 및 혼용 배정방식을 함께 사용하고 있다. 본 연구에서는 K 항공사의 전용 탑승교 주기장과 국내 항공사의 혼용 탑승교 주기장, 그리고 외국 항공사와의 공용 우선 탑승교 주기장만을 대상으로 일주일간의 일일 항공편에 대한 주기장 배정을 수행하였으며, 주기장 배정결과에 대한 평균 배정 항공편 및 승객 이동거리를 비교·분석해 보면 다음의 <표 2>와 같다.

<표 2> 인천국제공항의 배정 결과에 대한 비교 및 분석

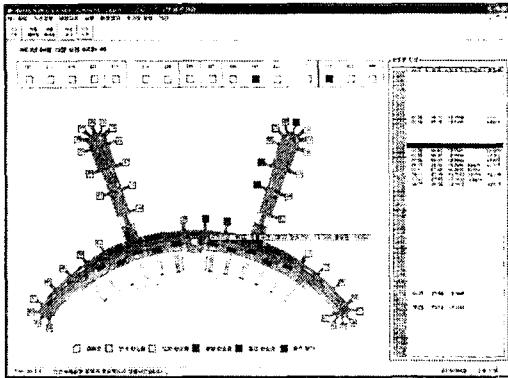
비교 항목		실제 배정결과	본 연구의 배정결과	개선율
전용 주기장	항공편수	50.1 편	65.1 편	29.9 %
	배정률	61.1 %	79.4 %	
승객 이동거리	지역승객	4,484,457.0 m	3,034,883.6 m	32.1 %
	환승객	3,300,606.4 m	2,338,253.6 m	27.8 %
	총승객	7,785,063.4 m	5,373,137.1 m	30.5 %

본 연구의 주기장 배정모델은 평균 12.3 초가 소요되었으며, 전체 승객에 대한 환승객의 비율은 평균 28.8 %를 나타내고 있다. 위의 <표 2>와 같이 실제 주기장 배정결과와 비교하여 모든 항공기를 국적사 우선 배정지역에 할당하고 일일 평균 항공편수의 약 18.3 %에 해당하는 15 대의 항공편을 K 항공사의 전용 주기장에 추가로 배정함으로써 인천국제공항에서 수행하고 있는 전용·혼용 주기장 배정 및 우선 배정 방식에 대한 효율성을 크게 증가시킬 뿐만 아니라 항공사는 자신의 전용 주기장이 아닌 혼용 주기장에 항공기를 배정함으로써 발생하는 추가적인 운영 비용을 크게 절감할 수 있다. 또한 지역 및 환승객의 이동거리 측면에서도 실제 주기장 배정의 이동거리와 비교

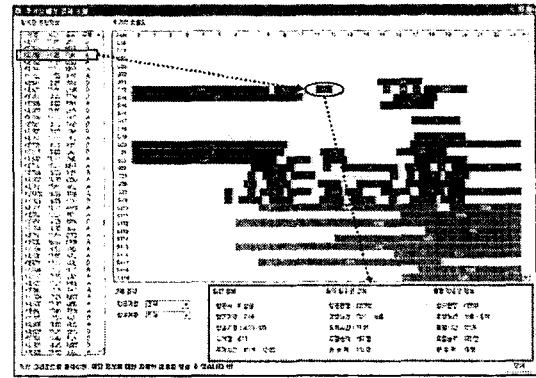
할 때 평균 30.5 %의 이동거리 감소를 나타내고 있다. 이러한 효율적인 주기장 배정을 통하여 전체 주기장의 이용률을 크게 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 항공기를 이용하는 승객의 출·도착 및 환승에 필요한 이동거리를 최소화함으로써 주기장 운영의 효율성 및 승객의 신뢰성을 증대시킬 수 있을 것이다.

#### 4. 주기장 운영을 위한 지원시스템

본 연구에서는 특정일에 대한 신규 주기장 배정 및 기존 배정결과에 대한 재배정을 수행하고 이에 대한 배정 결과를 조회하는 기능을 제공하는 주기장 운영지원시스템을 개발하였다. 본 주기장 운영 지원시스템의 메인 화면은 <그림 1>과 같으며, 주기장 배정을 위한 기초 정보 및 배정 규칙이 입력되면 최적의 주기장 배정을 위하여 메인 메뉴의 실행에 있는 신규 배정을 수행한다. 특정일에 대한 신규 주기장 배정은 시스템에 포함된 LINGO Solver의 배정 모듈을 호출하여 배정 문제의 정식화 모델을 작성하고 이에 대한 최적해를 산출한 후 그 결과를 시스템에 전달하는 과정을 수행한다. 신규 주기장 배정을 수행한 후 메인 메뉴의 배정 결과에 있는 주기장 흐름도를 통하여 주기장 배정 결과를 조회하고 분석할 수 있다. 주기장 흐름도에서는 특정일에 운항되는 출·도착 항공편에 대한 주기장 배정 결과를 간트바를 활용하여 도식화함으로써 보다 효율적인 주기장 운영을 기대할 수 있다. 다음의 <그림 2>는 주기장 배정 결과에 대한 주기장 흐름도를 보여주고 있다.



<그림 1> 운영 지원시스템의 메인 화면



<그림 2> 신규 배정결과 조회

주기장 배정 결과를 조회하기 위한 화면에서는 배정 가능한 모든 주기장에 대한 항공기의 배정 시간을 간트바 형태로 표현함과 동시에 특정 주기장의 사용 불가능한 시간, 원격 주기장과의 연계로 인한 토잉 정보 및 동일 주기장의 연속된 배정을 위한 최소여유시간 등을 서로 다른 색으로 표시하고 있다. 또한 일일 항공편 운항 정보를 추가하여 주기장 흐름도와 연계함으로써 특정 항공편에 대한 주기장 배정 결과를 간트바 내에서 신속하게 확인할 수 있을 뿐만 아니라 간트바 상의 해당 항공기를 클릭하면 항

공기 정보를 비롯한 출·도착 항공편에 대한 보다 자세한 정보를 제공받을 수 있다. 대형 허브 공항의 경우 많은 수의 항공편이 여러 주기장에 배정되므로 본 시스템에서 특정 항공기 및 항공기종에 대한 배정 결과만을 쉽게 조회할 수 있는 기능을 제공함으로써 특정 항공기의 주기장 배정 스케줄을 빠르게 확인할 수 있을 뿐만 아니라 이를 통한 항공기별/항공기종별 주기장 운영 분석을 위한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 5. 결론 및 추후연구과제

본 연구에서는 다중시간주기를 갖는 주기장 배정 문제의 기존 정식화 모델을 최적화 소프트웨어를 활용한 단일시간주기의 정식화 모델로 변환하고, 기존의 연구에서 제시되었던 이차배정문제의 정식화 모델을 실제 허브공항에서 이루어지는 환승객의 이동경로를 분석하여 선형계획문제로 정식화함으로써 최적해를 계산하는데 소요되는 수행 시간을 현저히 감소시킬 수 있는 접근 방안을 제시하고 개선된 정식화 모델을 국내 대형 공항의 실제 자료를 기초로 적용함으로써 그 배정 결과를 비교·분석하였다.

본 연구를 통하여 공항은 보유하고 있는 탑승교 주기장의 이용률을 증대함으로써 추가적인 시설의 확장 없이 늘어나는 항공수요를 처리할 수 있을 뿐만 아니라 기상 악화로 인한 항공편의 이·착륙 지연, 주기장의 유지·보수 등 복잡한 주기장 배정 문제에 신속히 대응함으로써 공항 운영의 효율성 증대 및 공항의 신뢰성 향상에도 크게 기여할 수 있을 것이다. 또한 터미널을 이용하는 승객의 경우 출·도착 및 환승에 소요되는 시간과 이동거리를 최소화함으로써 공항 이용의 편리성을 크게 향상시킬 수 있으며, 주기장을 사용하는 각 항공사의 경우 전용 탑승교 주기장의 이용률을 최대화함으로써 혼용 주기장을 사용하는데 소요되는 추가적인 운영비용의 절감을 기대할 수 있다.

추후연구과제로는 다양한 공항의 운영 규칙을 기존의 정식화 모델에 쉽게 추가할 수 있는 기능을 제공함으로써 실제 공항의 주기장 운영방식을 보다 정확히 시스템에 반영하고 승객의 이동거리와 함께 고려되는 수하물의 이동거리 최소화 모델을 개선된 정식화 모델에 추가함으로써 보다 효율적인 주기장 배정 시스템을 기대할 수 있다.

## 6. 참고문헌

- [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 No.4, pp.129-136, 2002
- [3] 이희남, 김연명, 이창호, “지능형 주기장 배정을 위한 의사결정지원시스템 개발에 대한 연구”, 안전경영과학회지, Vol.5 No.1, pp.93-102, 2003
- [4] 인천국제공항공사 공항운영팀, 2003년 3월 공항운영실적 분석보고서, 인천국제공항공사, 2003

- [5] Babic, O., D. Teodorovic, and V. Tasic, "Aircraft Stand Assignment to Minimize Walking", Journal of Transportation Engineering, Vol.110 No.1, pp.55-106, 1984
- [6] Chen, M. C., Optimizing Gate Assignment at Airport Terminals, Ph.D. Dissertation, University of Maryland at College Park, 1995
- [7] Haghani, A. and M. C. Chen, "Optimizing Gate Assignment at Airport Terminals", Transportation Research, Part A, Vol.32, pp.437-454, 1998
- [8] Lam, S. H., "Intelligent Airport Gate Assignment System", The 5th ATRG World Conference Proceedings, 2001
- [9] LINGO Systems Inc., Optimization Modeling with LINGO, LINGO Systems Inc., 1999