

## 항공화물 수요관리를 위한 이산 시뮬레이션 모델 개발

이 광렬\*, 홍기성\*, 이철웅\*\*

# Development of Discrete Event Simulation Model for Air Cargo Demand Management

Kwang Ryul Lee\*, Ki Sung Hong\*, Chulung Lee\*\*

### 요 약

본 연구에서는 항공 구간별 물동량을 분석하고 수요할당과 가격정책에 따른 수익 변화를 평가할 수 있는 이산 시뮬레이션 모델이 개발되었다. 개발된 시뮬레이션 모델을 우리나라와 지리적으로 가장 가까운 환발해권 지역에서 발생하는 대내외적인 항공화물에 대하여, 실제 항공사에서 운영되고 있는 운송량 수요 데이터를 기반으로 비교, 검증하였다. 그 결과 시뮬레이션 모델이 실제 수요를 예측할 수 있음을 통계적으로 제시하였으며, 향후 항공화물 수요 관리를 분석하는데 유용함을 입증하였다.

### Abstract

In this study, a discrete-event simulation model is developed to estimate load factors and the corresponding revenues under different pricing and dispatching policies. The model has been employed to forecast the inbound and the outbound air cargo demands of the major Northeastern Chinese cities, and the simulation results were compared to the actual demands obtained from real-life airline operations. The statistical analysis confirms that the simulation model is able to provide accurate estimates for air cargo demands, and thus, the model may be employed to be a useful tool for air cargo demand management.

▶ Keyword : 시뮬레이션 모델(Simulation Model), 항공화물(Air Cargo), 수요관리(Demand Management)

• 제1저자 : 이광렬    교신저자 : 이철웅

• 접수일 : 2008. 10. 16, 심사일 : 2008. 10. 22, 심사완료일 : 2008. 12. 24.

\* 고려대학교 정보경영공학부 석사과정    \*\* 고려대학교 정보경영공학부 부교수

※ 본 논문은 정석물류학술재단 지원에 의하여 연구되었음

## I. 서론

최근 물류 산업은 정보통신의 비약적인 발달과 국경 장벽의 완화, 신흥대시시장의 부상 등으로 인해 거시적인 변화가 심화되고 있다. 국가 경쟁력과 국가전체의 경제를 위한 효과적인 물류서비스의 전략적 중요성은 과거 수년간 큰 폭으로 증가하였고, 무역장벽의 철폐와 시장구조의 변화로 화물의 물동량 증가는 앞으로 더욱 중요한 위치를 점하게 될 것이다. 이러한 변화의 하나로 기업경영의 글로벌화는 생산의 본거지를 외국으로 이전시키는 글로벌 재배치(global shift)를 가속화시키고 있고, 이러한 재배치 결과로 중국은 세계교역의 중심시장으로 자리잡고 있다.

중국 정부는 변화하는 무역환경으로 인한 중국경제의 급성장과 물동량의 급증세에 대응하기 위해서 2000년도 초반부터 지금까지 물류산업의 육성을 핵심정책으로 채택하고, 교통인프라의 대규모 건설 및 확충사업을 진행으로써, 현재 그리고 향후 예상되는 물류의 병목현상을 해결하고 나아가 자국 중심의 국제 물류 운송 네트워크를 구축하고 있다. 이러한 상황에서 한국은 기업차원에서 거대한 잠재력을 갖고 있는 중국 물류시장으로의 진출을 서두르고 있으며, 한반도의 지리적 이점과 우리나라의 항공사와 선사들의 경쟁력에 기반하여 2001년부터 21세기 동북아 지역이 물류 중심 국가로 발전시키는 것을 국가적 차원에서 추진하고 있다. 특히, 천진을 중심으로 하는 환발해권은 한국 기업들이 낮은 생산비를 이유로 초기에 많이 진출한 지역이다. 하지만 통합적인 물류중개기능이 용이하지 않아 많은 국내의 대기업들이 예측 가능한 유동 물동량과 전략에 대한 대안을 절실하게 요청하고 있는 상황이다(4).

국제 물류 운송 산업에서 두 개의 큰 축은 항공화물운송과 해상화물운송이 있으며, 항공화물은 해상화물에 비해 물동량 측면에서는 미미하나 화물 가치 측면에서 부가가치가 매우 높고, 그 중요성이 커지고 있다(2). 또한 항공산업 전문가들은 항공화물이 향후 10년 동안 6%의 증가율을 보이고 이에 따라 전세계화물 수송기도 2,800대로 두 배가 될 것으로 예측하고 있어 항공화물은 국제교역에 있어 중요한 역할을 할 것으로 전망된다(1).

항공화물은 중량, 용적, 다양한 취급조건 등에 따라 운임구조가 복잡하며, 발생한 수요지로부터 목적지까지의 점대점(point to point)의 네트워크 연결로 화주가 요청하는 도착시간 전까지 모든 연계가능 구간에 대하여 노선 선택이 가능하다. 이러한 네트워크 문제의 복잡성으로 인해 항공화물에 대한 물동량 분석의 필요성에도 불구하고 물동량을 분석하는

시물레이션 모델이 개발되지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고부가가치를 지니는 항공화물 산업의 마케팅 전략 수립을 위한 유용한 도구로써 시물레이션 모델을 개발한다. 개발된 모델을 이용하면 항공화물에 대한 구간별 물동량을 분석과 가격 모델을 통하여 수요관리와 가격정책에 따른 물동량 변화 예측이 가능하게 되어, 향후 항공사의 마케팅 전략 수립에 도움이 될 수 있다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 항공사의 운송 네트워크가 허브와 스포크(hub and spoke) 구조를 도입함에 따라 발생하는 복수 비행구간을 고려하여 수요관리기법에 관한 연구를 고찰하고, 항공화물 시물레이션과 관련하여 기존 연구에 대해 조사한다. 3절에서는 항공사의 운송 네트워크를 고려한 항공화물 운송구조에서 항공화물 수요관리를 위한 이산 시물레이션 모델을 개발한다. 이러한 시물레이션 모델은 구간별 물동량 분석을 분석하고 수요관리를 적용한 구간 운임을 통하여 물동량변화를 예측하여 항공사의 마케팅 전략 수립을 위한 유용한 도구가 될 것이다. 4절에서는 세계 교역의 중심으로 자리잡고 있는 중국시장에서 우리나라와 근접한 환발해권 지역의 2006년 항공화물 물동량 자료를 바탕으로 실험 방법을 결정하고, 5절에서는 항공화물에 대한 실측 데이터와 시물레이션 실행 결과를 비교, 검증하고 분석한다. 그리고 마지막 6절에서 결론을 맺는다.

## II. 기존연구에 대한 고찰

항공 운송 산업에서 중요한 수요 특성 중의 하나는 상품이 소비자에게 공급되기 이전에 상품에 대한 예약 행위가 발생하고, 상품이 제공되는 시점까지의 여유기간 동안 예약에 대한 해지를 요구하거나 해지요구 없이 상품을 구매하지 않는 예약 부도가 나타난다는 것이다(3). 또한 일정기간 동안 판매하지 않으면 자산의 가치가 사라지는 특성으로 인해, 항공기 내의 빈 공간을 유지하는 것보다 고정비용 이상이 보장되는 다양한 할인 가격을 제공하여 항공사의 이윤을 증대시키는 것은 필수적이라고 할 수 있다(2). 이러한 환경 속에서 항공 운송 산업에 대한 수익을 높이고자 수요관리에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 초기 수요관리에 관한 연구는 예약부도(no-show), 취소(cancellation)의 발생 가능성으로 인해 항공사에서 제공할 수 있는 자원보다 많은 예약을 받는 초과예약에 관한 연구(6)(8)(13)(14)와 단일구간을 고려하여 소비자를 세분화시키고 추정된 수요를 바탕으로 다양한 운임에 따른 자원을 할당하는 연구로 진행되었다.(5)(6)(16). 하지만 오늘날의 항공 운송 산업의 복잡한 네트워크 구조로 인해 기존의 단일

구간을 고려한 연구를 적용하는데 한계가 있으며, 구간의 수가 증가함에 따라 문제의 복잡성이 증가하는 문제점을 안고 있다. 이에 네트워크를 고려한 수요관리 연구로는 크게 두 가지로써 출발-목적지에 대한 기회비용을 계산하여 자원을 통제하는 기법[10][17][18]과 가용 용량을 통제하는 기법[7][13]이 있다. 이러한 수요관리 기법을 적용한 시뮬레이션 모델로는 MIT와 보잉사가 협력하여 개발한 여객항공의 출발-목적지에 관한 시뮬레이터, PODS(passenger origin-destination simulator)가 있다. 또한 Loo hay lee 외 10명(2003)이 객체지향기법을 이용한 C++언어로 여객항공을 위한 시뮬레이터 SIMAIR를 개발하였다. SIMAIR는 각 모듈에 따라 시뮬레이션(Simulation), 제어기(Controller), 그리고 리커버리(Recovery)의 총 3가지 모듈로 구성되어 있다. 각 모듈은 입력 데이터인 비행기 스케줄에 따라 실행되는데, 만약 출발 상황으로 인한 스케줄의 차질이 발생하면 리커버리 모듈을 통한 정책 변경으로 수정된 방법이 제어기 모듈을 통해 스케줄을 다시 정상적으로 돌아오게 만든다. 이러한 일련의 과정을 통하여 비행기와 승무원을 포함하는 항공사 운영을 시뮬레이션 한다. 하지만 항공화물은 여객항공과는 다른 몇 가지 특성을 지닌다. 이러한 항공화물에 대한 특징은 <표 1>과 같다.

표 1. 항공화물의 특성  
Table 1. Characteristics of Air Cargo  
(R.G. Kasilingam, 1996)

	승객(Passenger)	화물(Cargo)
자원 (Resource)	좌석 (seat)	공간 (space)
용량 (Capacity)	고정 (fixed)	고정되지 않음 (unfixed)
여정 (Itinerary)	승객이 노선을 선택함	도착시간, 날짜에 의해 노선이 선택됨

첫 번째, 여객 항공 산업은 좌석을 자원으로 하지만 화물 항공 산업은 공간을 자원으로 한다는 것이다. 좌석을 자원으로 하는 여객 항공 산업인 경우, 좌석에 대한 예약의 유무에 따라 1차원으로 표현될 수 있지만, 화물 항공 산업의 경우, 화물에 따라 중량, 부피, 밀도를 결정해야 하는 3차원 공간이다. 두 번째, 승객과 화물은 비행 출발 전 일정기간 동안 발생하는 예약 요청에 따라 유한한 자원인 공간을 적절하게 할당한다는 개념은 같지만, 승객은 미리 정해진 구간에 따라 전체 여정(itinerary)을 결정하고, 화물은 지정 구간(leg)를 따로 고려하지 않는다는 차이점을 지닌다. 즉 화물은 도착일과 목적지에 대한 제약만 가지므로 연계 가능한 구간을 모두 고려

해야 한다는 것이다. 세 번째, 한 명의 승객이 전반적인 수익에 미치는 영향은 크지 않으나, 화물은 운송업자가 여러 송하인들의 화물을 종합해서 항공사에 예약 요청을 하므로 그 수는 적으나 전체 수익에 미치는 영향은 크다는 것이다. 이러한 특성을 고려하여 이철웅 외 3명(2006)은 항공화물 터미널에 화물 처리시간을 최소화하기 위한 항공사 할당 정책의 효과를 분석하는 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 확률적인 특성을 지닌 화물의 다양한 제품군과 처리 도구들의 복잡성으로 Timed CPN(Colour Petri Net)을 사용하여 분석하였다. 하지만 항공화물 터미널에 대한 시뮬레이션 모델로써 취급 조건에 따른 다양한 운임은 반영하였지만, 항공 운송 네트워크 구조로 인한 비행구간의 연계는 반영하지 않았다.

이러한 항공여객, 항공화물 터미널에 대한 시뮬레이션 모델에 관한 연구들은 항공 여객에 대하여 수요 관리 모델을 적용하였으며, 단일구간에 대한 항공 스케줄을 기반으로 있다. 또한 여객항공과는 다른 특성을 지닌 항공화물은 기존 시뮬레이션 모델의 확장을 어렵게 하며, 오늘날의 허브와 스포크(hub and spoke) 구조로 인한 네트워크 확장으로 발생하는 복수구간에 대한 연계를 제대로 반영하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 항공화물의 특징을 반영하여, 기능별 모듈화를 통해 확장이 용이한 시뮬레이션 모델을 개발한다.

### III. 항공화물 시뮬레이션 모델

본 연구의 프로그램은 이산사건 기반 모델로 구성되었으며, 객체지향기법을 이용하여 C++언어로 개발하였다. 본 시뮬레이션 모델은 항공기의 출발시간과 도착시간, 화물용량에 대한 실제 데이터를 바탕으로 도출된 구간별 운임과 도착 시간에 대한 제약을 고려하여, 연계 가능한 모든 구간을 검색하여 수요를 배정한다. 배정된 수요에 의해 각 구간별 물동량과 전체 운임이 결과로 출력되는 본 시뮬레이션 모델은 시뮬레이션 모듈, 가격 모듈, 할당 모듈의 3가지 모듈로 구성되어 있으며, 전체 구조는 <그림 1>과 같다.

#### 3.1 시뮬레이션 모듈

시뮬레이션 모듈은 초기 루틴, 수요 발생 루틴, 시뮬레이션 종료 루틴의 총 3개 루틴으로 구성되어 있다. 초기 루틴에서 입력 데이터인 여객항공과 화물전용항공에 대한 가용 공간과 출발시간, 도착시간에 대한 항공 스케줄, 수요 도착률( $\lambda$ )을 입력 받는다. 이러한 입력 정보를 바탕으로 수요발생 루틴

에 의하여 수요발생지 이벤트, 수요 발생시간 이벤트, 목적지 이벤트, 도착시간 제약 이벤트가 발생된다. 수요발생 루틴에 의해 발생한 이벤트는 이벤트 리스트에 저장되며, 저장된 이벤트는 할당 모듈의 할당처리기 입력값으로 사용된다. 시뮬레이션 종료 루틴은 할당모듈에 의해 생성된 총 운송비용과 해당 구간에 대한 운송량을 일괄적으로 계산하여, 리포터 생성기에 의해 각 구간별 항공화물 운송량과 총 운송비용, 항공기의 잔여공간, 수요 발생량, 수요 허락률이 결과로 출력된다.

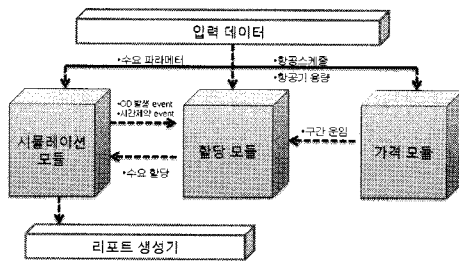


그림 1. 시뮬레이션 구조  
Fig. 1. Simulation Model Structure

3.2 가격 모듈

가격 모듈은 항공 스케줄과 항공기 가용 공간, 그리고 추정된 수요 도착률( $\lambda$ )을 바탕으로 가격 선택 프로세스에 의해 시장가격 및 수요관리 기법을 통한 가격 정책을 선택할 수 있다. 이러한 가격선택 프로세스에 의해 생성된 구간별 항공화물 운임은 운임 확인 프로세스에 의해 확인 절차를 거치며, 할당 모듈의 비행 구간 연계 루틴에 의해 생성된 각 구간에 대한 기본운임 데이터로 사용된다.

3.3 할당 모듈

할당 모듈은 시뮬레이션 모듈의 수요 생성 루틴으로부터 발생되는 수요발생지 이벤트, 수요요청 시간 이벤트, 목적지 이벤트, 도착시간 제약 이벤트를 바탕으로 비행구간 연계 루틴에 의하여 수요 발생지로부터 도착공항까지의 연계 가능한 모든 구간에 대하여 구간 연결을 실시한다. 연결된 비행 구간을 바탕으로 도착시간 제약 이벤트의 조건 내에서 수요발생지부터 출발공항까지의 내륙운송시간과 선적시간, 출발 공항으로부터 목적지까지 연계 가능한 비행운송시간을 고려하여, 할당처리기의 정책에 따라 요청된 수요의 배정과정이 연속적으로 일어나며 이에 확정된 최종 화물운송 요청데이터는 수요배정 루틴과의 상호 연계를 통하여 현재 시스템 내에 있는 연계 가능한 노선에 대하여 각 구간별로 배정한다. 배정된 결과는

시뮬레이션 모듈의 시뮬레이션 종료 루틴으로 넘겨준다.

발생된 수요에 대한 할당처리기의 수리적 모형은 다음과 같다.

(기호)

- d : 수요 발생지
- i : 출발지 인덱스( $i=1,2,\dots,n$ , n은 출발공항 수)
- j : 허브공항의 인덱스( $j=0,1,2,\dots,m$ ,  $j=0$ 은 허브공항을 거치지 않고 이동하는 직항노선, m은 허브공항의 수)
- k : 목적지 인덱스( $k=1,2,\dots,l$ , l은 도착공항 수)

$Gt$  : 수요의 발생 시간

$Tl$  : 수요의 시간 제약

$Dt_{i,j,k}$  : 출발지(i)에서 허브(j)를 거쳐 목적지(k)까지 가는 노선의 출발시간

$At_{i,j,k}$  : 출발지(i)에서 허브(j)를 거쳐 목적지(k)까지 가는 노선의 도착시간

$C_{i,j}$  : 출발지(i)에서 허브(j)까지 가는 노선의 용량

$C_{j,k}$  : 허브(j)에서 목적지(k)까지 가는 노선의 용량

$ac_{i,j,k}$  : 출발지(i)에서 허브(j)를 거쳐 목적지(k)까지 가는 항공노선의 비용

$lc_{d,i}$  : 수요발생지(d)에서 출발공항(i)까지 가는 육상운송비용

$lt_{d,i}$  : 수요발생지(d)에서 출발공항(i)까지 이동하는데 소요되는 시간

$u_{d,i}$  : 수요발생지(d)에서 출발공항(i)까지 가는 수요를 허락하면 1, 아니면 0을 가지는 이진변수

$u_{i,j,k}$  : 출발공항(i)에서 허브공항(j)을 거쳐 목적지(k)까지 가는 수요를 허락하면 1, 아니면 0을 가지는 이진변수

$$Min \sum_{i=1}^n [lc_{d,i} \cdot u_{d,i} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l ac_{i,j,k} \cdot u_{i,j,k}] \dots\dots (3.1)$$

s.t.

$$C_{i,j} \geq 0 \quad \forall i, \forall j \dots\dots\dots (3.2)$$

$$C_{j,k} \geq 0 \quad \forall j, \forall k \dots\dots\dots (3.3)$$

$$At_{i,j,k} \cdot u_{i,j,k} \leq Tl \quad \forall i, \forall j, \forall k \dots\dots\dots (3.4)$$

$$(lt_{d,i} + Gt)u_{d,i} \leq Dt_{i,j,k} \quad \forall d, \forall i, \forall j, \forall k \dots\dots (3.5)$$

$$u_{i,j} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j \dots\dots\dots (3.6)$$

$$u_{j,k} \in \{0,1\} \quad \forall j, \forall k \dots\dots\dots (3.7)$$

목적식 (3.1)은 항공화물 수송 시 전체 비용을 최소화 하는 출발지와 허브공항을 선정하기 위한 것으로서, 수송 비용을 최소화 하는 목적함수를 가진다. 제약식 (3.2), (3.3)은 가용 용량이 0보다 크다는 것을 의미하며, 제약식 (3.4)는 목적지 k까지 도착시간이 시뮬레이션 모듈의 수요발생 루틴에 의해 생성되는 시간제약 이벤트보다 작은 경우에만 허브 공항의 선택이 가능하다는 것을 나타낸다. 제약식 (3.5)는 출발공항에서의 이륙 시간이 시뮬레이션 모듈의 수요발생 루틴에 의해 생성되는 수요의 발생시간 이벤트와 입력 데이터 셋인 내륙 운송시간의 합보다 큰 경우에만 출발공항의 선택이 가능하다는 것을 나타낸다. 제약식 (3.6), (3.7)은 이진변수로 해당 구간에 대한 수요의 허락유무를 나타낸다.

이러한 할당처리기는 발생된 이벤트에 의해 육상 이동 시간, 항공 이동 시간에 대하여 제약 조건을 만족하는 스케줄 내에서 비용이 가장 싼 노선의 기준으로 배정된다. 이때 제약 조건을 만족하지 못한 이벤트는 거절되며 이후 재사용되지 않는다.

항공화물 시뮬레이션 모델에 대한 전반적인 구조는 <그림 2>와 같으며, 프로그램 내의 각 루틴 및 이벤트 루틴에 대한 개략적인 역할은 다음과 같다.

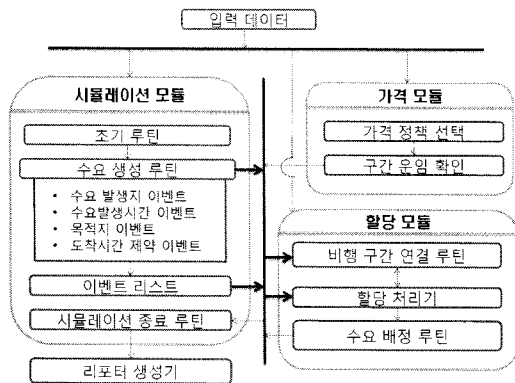


그림 2. 항공화물 수요관리 시뮬레이션 모델 구조  
Fig. 2. Simulation Model Structure for Air Cargo Demand Management

- [초기 루틴]
- 초기 항공기에 대한 스케줄 읽기
    - ◆ 여객항공과 화물전용항공에 대한 가용 공간
    - ◆ 출발시간
    - ◆ 도착시간
  - 입력 파라미터 읽기
    - ◆ 추정된 수요 도착률( $\lambda$ )

- [수요 생성 루틴]
- 입력값에 의해 이벤트 발생
    - ◆ 수요발생지 이벤트
    - ◆ 수요 발생시간 이벤트
    - ◆ 목적지 이벤트
    - ◆ 도착시간 제약 이벤트
- [이벤트 리스트]
- 생성된 이벤트를 저장
  - 저장된 이벤트는 FCFS에 따라 처리
  - 할당처리기 호출
- [가격 정책 선택]
- 각 구간별 가격 정책 선택
  - 항공기 가용공간, 수요 도착률( $\lambda$ ) 읽기
  - 가격 정책에 따른 구간별 항공운임 도출
- [구간 운임 확인]
- 해당 정책에 대한 운임 확인
  - 할당처리기 호출
- [비행 구간 연결 루틴]
- 수요 발생지로부터 도착공항까지의 모든 구간에 대한 연계
  - 할당처리기 호출
- [할당처리기]
- 구간별 운임 검색
  - 연계 가능한 구간 검색
  - 항공화물 가용용량 검색
  - 이벤트 리스트 중에서 처리할 사건을 검색하여 할당
    - ◆ 수요지에서 출발공항까지 육상운송시간
    - ◆ 출발공항에서 목적지까지 항공운송시간
    - ◆ 출발공항에서 허브공항까지 항공운송시간
    - ◆ 허브공항에서 목적지까지 항공운송시간
    - ◆ 화물 선적 시간
- [수요 배정]
- 할당처리기에 의해 검색된 수요 할당
  - 항공화물 용량 갱신
- [리포트]
- 시뮬레이션 결과작성
    - ◆ 항공화물 운송량
    - ◆ 총 운송 비용

- 항공기의 잔여공간
- 수요 발생수
- 수요 허락률

#### IV. 실험 방법 결정

우리나라를 비롯한 많은 동아시아의 경쟁 국가들은 자국의 운송 네트워크를 활용하여 자국의 특정 교통거점을 물류거점으로 성장시키고자 다각적인 전략을 추진하고 있다[1]. 이러한 시점에서 중국은 2008년 베이징 올림픽과 2010년 상해 세계 박람회 유치 및 지속적인 외국인 투자자의 확대에 의해 대내외적인 생산 및 유통 활동이 강화되면서 중국 시장에 대한 물동량이 급속하게 성장하고 있다. 또한 중국은 WTO 가입 전후로 물류부문에 대한 개방화와 표준화 정책으로 유수의 해외물류기업 유치를 적극 유발함으로써 중국 물류시장의 성장과 시장 경쟁을 가속화 시키고 있다[4]. 이러한 상황에서 천진을 중심으로 하는 환발해권의 2006년 물동량은 전년도 대비 8.99%가 증가하였다.

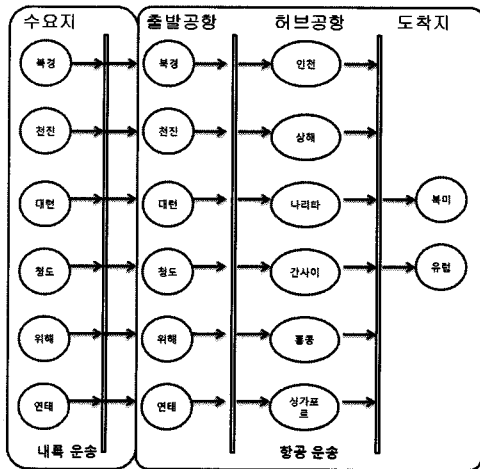


그림 3. 항공화물 운송 네트워크  
Fig. 3. Air Cargo Network

이에 본 연구는 2006년 실제 물동량을 바탕으로 그림 3처럼, 인천공항과 지리적으로 가장 가까운 환발해권(북경, 천진, 대련, 청도, 위해, 연태) 지역에서 발생하는 북미, 유럽행 항공화물을 대상으로 실험을 수행하였으며, 연계 가능한 허브

공항으로 동북아 허브 공항인 인천, 상해, 나리타, 간사이, 홍콩, 싱가포르의 6개 공항을 고려하였다.

우선 환발해권 지역에서 발생한 수요는 내륙 육상 운송을 통하여 북경, 천진, 대련, 청도, 위해, 연태 지역의 출발공항으로 이동된다. 출발공항으로 이동된 수요는 6곳의 연계 가능한 동북아 허브공항을 통해 북미, 유럽의 목적지로 운송되거나 직항으로 운송된다. 이러한 시뮬레이션에 대한 가정은 다음과 같다.

항공기에 대한 기본적인 입력 데이터 셋(운송시간 및 비용, 운행일정)은 2006년 항공화물에 대한 실제 물동량 데이터를 기반 한다.

항공사의 운항 일정 및 취항 항공기, 운송용량에 대한 기본 데이터는 변하지 않는다.

대상지역에서 발생된 수요는 하나의 목적지를 가지며, 발생된 각각의 수요에 대한 단위 화물 용량은 1000kg으로 한다.

발생된 수요는 도착 시간에 대한 제약을 가지며, 도착 시간에 대한 제약을 만족시키지 못할 경우, 수요는 받아들여지지 않는다.

발생된 수요에 대하여 여러 개의 운송노선이 있는 경우, 비용이 가장 낮은 노선이 선택되며, 비용이 같은 경우 도착시간이 빠른 노선이 선택된다.

각 노선은 정해진 용량을 가지며, 용량이 꽉 찬 노선에 대하여 추가적인 수요 분배는 일어나지 않는다.

표 2. 공항 인덱스  
Table 2. Airport index

	인덱스	지역
출발공항 (Origin Airport)	1	북경
	2	천진
	3	청도
	4	대련
	5	연태
	6	위해
허브공항 (Hub Airport)	1	인천
	2	상하이
	3	홍콩
	4	나리타
	5	간사이
	6	싱가포르

항공화물 시뮬레이션 모델에 대한 운영의 효율성을 위하여 대상 공항별 인덱스를 <표 2>와 같이 부여하였다.

이러한 가정 하에 시뮬레이션 모델을 수행하기 위해선 시뮬레이션 길이와 수요에 대한 분포가 결정되어야 하며, 결정 방법은 다음과 같다.

#### 4.1 실행 길이 결정

독립적인 반복을 통한 출력 데이터를 분석할 경우, 모든 사건의 발생을 포함하는 시간을 실행 길이로 추천하고 있다(15). 본 연구의 대상인 구간별 항공화물 물동량의 경우, 항공 스케줄의 주기에 의해 결정되며, 현재 환발해권 항공기의 운항 일정은 주 단위를 반복으로 수행하고 있다. 따라서 모든 사건의 발생을 포함하는 실행 길이를 1주일로 수행하여 분석하였다.

#### 4.2 수요 분포 추정

대상 구간별 실제 물동량(표 3)을 토대로 수요 분포를 추정한다. 확률분포에 의해 추정된 수요 요청 간격(inter-arrival time)은  $X_{OD}(OD=1,2,\dots)$ 인 푸이송 분포를 따르고, 수요 발생률(arrival rate)은  $\lambda_{OD}(OD=1,2,\dots)$ 이다. 추정된 수요발생률( $\lambda_{OD}$ )에 대한 요약은 <표 3>과 같다.

### V. 시뮬레이션 모델의 결과 검증

본 시뮬레이션 모델의 타당성 검증을 위하여 대상 지역의 수요발생지에서 목적지별 운송량에 해당하는 2006년 실적치(표 3)와 시뮬레이션 모델에 의한 각 구간별 수행 결과를 비교 하였다. 이러한 시뮬레이션 결과는 확률 변수이므로 구간별 물동량과 실적치에 대하여  $\chi^2$  검정을 통해 검증하였다.

표 3. 2006년 물동량(단위: KG)과 수요발생률  
Table 3. Air Cargo Volumes & Arrival Rate, 2006

수요	북미	$\lambda$	유럽	$\lambda$
북경	243,368,591	8.31	17,455,972	0.92
천진	439,304	0.46	457,561	2.91
청도	13,413,844	3.02	3,782,659	0.72
대련	601,660	0.76	775,841	0.14
연태	2,127,136	0.58	740,680	0.13
위해	5,392,147	1.21	1,279,316	0.28

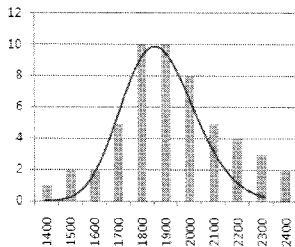


그림 4. 북경-북미간 수요 추정  
Fig. 4. Demands Estimation between Beijing and North America

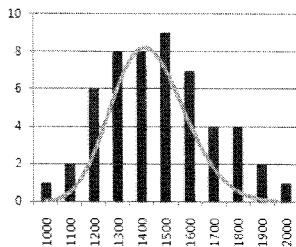


그림 5. 북경-유럽간 수요 추정  
Fig. 5. Demands Estimation between Beijing and Europe

$\chi^2$  값은 관측도수(Observed frequency,  $f_o$ )와 기대도수(Expected frequency,  $f_e$ )를 이용하여 식(8)을 통해 산출된다.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \dots\dots\dots (5.1)$$

이러한 분포에 대한 평균과 분산은 식(5.2)로 표현된다.

$$\begin{aligned} E(\chi^2) &= d.f. \\ \text{Var}(\chi^2) &= 2d.f. \dots\dots\dots (5.2) \\ \text{Mode} &= d.f. - 2 \end{aligned}$$

식(5.1)을 통해 산출된  $\chi^2$  값을 이용하여, 총 52주간의 12 구간별 물동량과 시뮬레이션 모델의 관련성을 유의수준  $\alpha = 0.025$ 에서 검증한다. 구간별  $\chi^2$  검증에 대한 결과는 <표 4>와 <그림 6>으로 요약된다.

예를 들어 북경에서 북미간 항공화물에 대한 2006년 화물 물동량 실적치 자료와 실험 결과에 대한 검정을 수행하면,

$H_0$  : 북경-북미 간 실제 물동량과 동일하다  
 $H_1$  : 북경-북미 간 실제 물동량과 동일하지 않다.

표 4. 검증 결과  
 Table 4. Results Summary

구간( $X_{OD}$ )	$\sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$	$\chi^2_{0.975, 50}$
$X_{1,1}$	25.11	32.357
$X_{1,2}$	31.83	
$X_{2,1}$	28.01	
$X_{2,2}$	29.91	
$X_{3,1}$	30.35	
$X_{3,2}$	31.88	
$X_{4,1}$	30.09	
$X_{4,2}$	32.49	
$X_{5,1}$	30.94	
$X_{5,2}$	31.95	
$X_{6,1}$	31.68	
$X_{6,2}$	30.44	

산출된 북경- 북미 간  $\chi^2$ 의 값은 25.11로  $\chi^2$ 의 한계값  $\chi^2_{\alpha, d.f.} = \chi^2_{0.975, 50} = 32.357$ 보다 작으므로 기각할 수 없다. 따라서 본 항공화물에 대한 시뮬레이션 모델이 실제 환발해권의 항공화물에 대한 물동량을 97.5% 신뢰도를 가지고 예측할 수 있음을 보여준다. 이러한 결과를 통해 구간별 물동량 분석과 다양한 가격정책의 수요관리를 적용하여 향후 항공사의 마케팅 전략 수립에 유용한 도구로 사용될 것이다.

### VI. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 국제 물류 운송 산업의 큰 축인 항공화물분야에 대한 운송 네트워크 구조를 반영하여, 출발-목적지 사이에 연계 가능한 모든 구간에 대하여 물동량을 분석할 수 있는 시뮬레이션 모델이 개발되었다.

본 시뮬레이션 모델은 초기 루틴, 수요생성 루틴, 이벤트 리스트를 가진 시뮬레이션 모듈, 시장가격 또는 수요관리에 의해 구간별 운임을 선택할 수 있는 가격 모듈과 비행구간연결 루틴, 할당처리기와 수요배정루틴을 가진 할당모듈로 구성되어 있으며, 항공기에 대한 스케줄, 수요생성을 위한 기본적

인 데이터를 바탕으로 구간별 물동량을 분석할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 모델은 각 기능별 모듈화를 통하여 모델의 확장 용이성을 갖추고 있다. 이러한 모델에 대한 비교, 검증으로 환발해권 지역에서 발생하는 대내외적인 항공화물 실측치를 사용하였으며, 그 결과 본 시뮬레이션 모델이 실제 수요를 예측할 수 있음을 통계적으로 제시하였다.

개발된 시뮬레이션 모델을 기반으로 구간별 항공화물에 대한 운송량과 수요관리를 통한 가격정책의 적용에 따른 물동량 변화를 분석하며, 향후 항공사의 마케팅 전략 수립에 기여하는 도구가 될 것으로 기대한다.

### 참고문헌

- [1] 김태승, 원동욱, 윤정원 "환발해권 Sea&Air 수송의 발전 가능성" 전망한국항공경제학회지 제22집, 제3호, pp.189-207, 2006.
- [2] 김선자, "혁신적인 경영기법 수익관리(Revenue or Yield Management)에 관한 고찰", 고려대학교, pp.8-21, 1998.
- [3] 윤문길, 이희영, "항공사 수익경영모형에 관한 조사연구", 한국경영과학회지, 제30집, 제2호, pp.41-61, 2005.
- [4] 최용록, 이충추 "환발해권의 물류수급불균형과 한국제조업체의 대응과제", 인하대학교 산업경제연구소 경상논집 제20집, 제1호, pp.79-103, 2006.
- [5] S. Albert and M. Besser, "Modeling Choice of Flight and Booking Class : A Study Using Stated Preference and Revealed Performance Data", International Journal of Services Technology and Management, Vol.2, No.1/2, pp.28-45, 2001.
- [6] J. M. Beckmann, "Decision and Team Problems in Airline Reservations", Econometrica, Vol.26, No.1, pp.134 - 145, 1958.
- [7] P. P. Belobaba, "Airline Yield Management an Overview of Seat Inventory Control", Transportation Science, Vol.21, No.2, pp.63-73, 1987b.
- [8] R. E. Chatwin, "Continuous-Time Airline Overbooking with Time Dependent Fares and Refunds", Transportation Science, Vol.33, No.2, pp.182 - 191, 1999.



[9] C. Lee, H. C. Huang, B. Liu, Z. Xu, "Development of Timed Colour Petri Net Simulation Models for Air Cargo Terminal Operations", *Computers and Industrial Engineering*, Vol.51, No.1, pp.102-110, 2006.

[10] R. Gopalan, K. T. Talluri, "Mathematical Models in Airline Schedule Planning : A Survey", *Annals of Operations Research*, Vol.76, pp.155 - 185, 1998.

[11] R. G. Kasilingam, "Air Cargo Revenue Management : Characteristics and Complexities", *European Journal of Operational Research*, Vol.96, pp.36-44, 1996.

[12] H. L. Lee, H. C. Huang, C. Lee, E. P. Chew, W. Jaruphongsas, Y. Y. Yong, Z. Liang, C. H. Leong, Y. P. Tan, K. Namburi, "Discrete Event Simulation Model for Airline Operations : SIMAIR", *The Winter Simulation Conference*, 2003.

[13] M. Rothstein, "An Airline Overbooking Model", *Transportation Science*, Vol.5, No.2, pp.180-192, 1997.

[14] M. Rothstein, "Airline Overbooking: The State of the Art", *Journal of Transport, Economics and Policy*, Vol.5, No.1, pp.96 - 99, 1971.

[15] R. E. Shannon, "System Simulation : The Art and Science", Prentice-Hall, 1975.

[16] K. T. Talluri, G. V. Ryzin, "The Theory and Practice of Revenue Management", Springer, 2004.

[17] K. T. Talluri, G. V. Ryzin, "An Analysis of Bid-price Controls for Network Revenue Management", *Management Science*, Vol.44, No.11, pp.1577-1593, 2006.

[18] E. L. Williamson, "Airline Network Seat Control : Methodologies and Revenue Impact". Ph.D. Thesis, Flight Transportation Laboratory, MIT, Cambridge, MA, 1992.

**저자 소개**



**이 광 렬**

2007년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사  
 2007년 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학부 석사과정  
 관심분야 : 항공 교통물류, SCM, 수익관리



**홍 기 성**

2006년 2월 : 고려대학교 산업시스템정보공학과 학사  
 2008년 2월 : 고려대학교 정보경영공학부 석사  
 2008년 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학부 박사과정  
 관심분야 : 항공/해운 교통물류, SCM, Pricing, 수익관리



**이 철 응**

1992년 2월 : 서울대학교 산업공학과 학사  
 1994년 2월 : 서울대학교 산업공학과 석사  
 2000년 5월 : Pennsylvania State Univ. 공학박사  
 현재 : 고려대학교 정보경영공학부 교수  
 관심분야 : 항공/해운 교통물류, e-Marketplace, 물류 시스템 설계 및 제어