

## 항공 수요예측 및 고객 수하물 컨베이어 확장 모형 연구 : 인천공항을 중심으로

윤성욱 · 정석재\*  
광운대학교 경영학부

### Air Passenger Demand Forecasting and Baggage Carousel Expansion: Application to Incheon International Airport

YOON, Sung Wook · JEONG, Suk Jae\*

School of Business, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

#### Abstract

This study deals with capacity expansion planning of airport infrastructure in view of economic validation that reflect construction costs and social benefits according to the reduction of passengers' delay time. We first forecast the airport peak-demand which has a seasonal and cyclical feature with ARIMA model that has been one of the most widely used linear models in time series forecasting. A discrete event simulation model is built for estimating actual delay time of passengers that consider the passenger's dynamic flow within airport infrastructure after arriving at the airport. With the trade-off relationship between cost and benefit, we determine an economic quantity of conveyor that will be expanded. Through the experiment performed with the case study of Incheon international airport, we demonstrate that our approach can be an effective method to solve the airport expansion problem with seasonal passenger arrival and dynamic operational aspects in airport infrastructure.

본 연구는 시설 확장비용과 승객들의 지체시간 감소에 따른 편익을 고려한 항공의 핵심 시설 확장 문제를 다루고자 한다. 이를 위해 우리는 시계열 예측방법으로 널리 알려진 ARIMA model를 활용하여 계절 및 주기를 갖는 항공 피크 수요를 예측한다. 승객이 공항에 도착한 후에 공항 내에서의 승객들의 흐름과 지체를 고려하여 실제 지체 편익을 추정하기 위해 이산사건 시뮬레이션 모형을 설계한다. 비용과 편익 간의 상충관계를 통해 우리는 컨베이어의 경제적 확장 대수를 결정한다. 인천공항의 사례를 활용한 실험이 수행되었으며, 실험 결과는 본 접근방법이 계절에 따른 승객의 도착 유형과 공항 내의 동적인 흐름을 반영한 시설의 확장 문제를 해결하는 데 효과적임을 보인다.

#### Keywords

ARIMA model, baggage carousel capacity expansion, cost-benefit, passenger forecasting, simulation analysis  
ARIMA 모형, 수하물 컨베이어 용량 확장, 비용-편익분석, 승객 수요예측, 시뮬레이션 분석

\* : Corresponding Author  
sjeong@kw.ac.kr, Phone: +82-2-940-5294, Fax: +82-2-940-8181

Received 27 March 2014, Accepted 25 May 2014

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

지속적인 항공 산업의 발전과 항공자유화(Open sky)시대를 맞이하여 세계 각국은 공항시설확충을 통한 항공운송 경쟁력 확보노력을 강화하고 있다. 공항 내의 시설 확충 및 운영계획에서 가장 기본이 되는 것은 특정 기간 동안에 공항을 이용할 것으로 예상되는 항공수요의 예측이라고 해도 과언이 아니다. 특히 활주로, 착륙대, 유도로, 주기장 등을 포함하는 에어사이드(Air-Side)와 여객 및 화물 처리시설, 기타 부대시설, 주차장 등을 포함하는 랜드사이드(Land-Side)에 대한 종합설계 계획에서 정확한 수요예측은 공항시설의 규모를 결정하거나 기존 공항시설의 용량을 가늠하여 시설의 포화시기를 예측함으로써 장기적인 공항개발 계획을 수립하는데 도움을 줄 수 있다(Andreoni and Postorino, 2006; Erma Suryani et al., 2010). 특히 Jorge and Rus(2004)에 따르면, 공항 시설물 투자 계획과 같은 중대 프로젝트에 대해서 투자 대비 편익을 고려한 경제적 타당성 검토가 필요함을 언급하고 있다.

본 연구에서는 미래 공항수요예측과 공항 터미널 내의 승객흐름 분석모형을 이용하여 최종적으로 공항 수하물 수취 컨베이어 확장에 대한 경제적 타당성을 분석하는 과정을 제시하고 있다. 한편 컨베이어의 적정 확장 대수를 결정하기 위해 수하물 컨베이어 확장에 따른 승객의 대기시간 감소분에 대한 편익과 컨베이어 설치에 따른 투자비용을 고려하였다.

### 2. 연구의 내용 및 방법

인천공항의 수하물수취 컨베이어 확장수량을 결정하기 위해 Figure 1과 같은 연구모형을 설계한다. 첫째, 계절형 ARIMA 분석을 이용한 정량적 수요예측을 이용하여 인천공항의 미래 공항 승객 수요를 예측한다. 둘째, 예측된 수요를 기반으로 항공기 유형, 승객의 특징, 도착승객 중 외국인 비율, 수하물 도착간격 등 승객흐름에 영향을 미치는 다양한 시나리오를 적용하여 승객의 지체시간을 측정하기 위해 승객흐름 시뮬레이션 모형을 개발한다. 셋째, 컨베이어 적정 확장 대수를 결정하기 위해 비용편익 분석 방법이 적용된다. 이를 위해 컨베이어 확장에 따른 수하물 수취에서의 승객의 대기시간 감

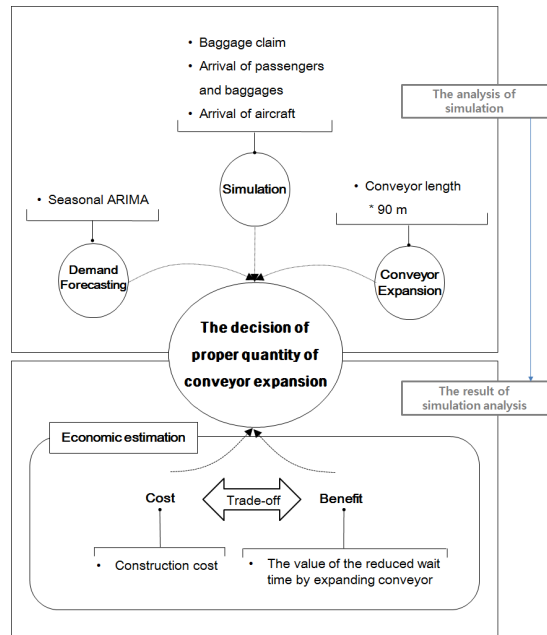


Figure 1. Baggage carousel capacity expansion model

소 편익과 확장에 따른 추가 비용을 산출하고, 투자 대비 편익이 높은 경제적 확장 대수를 결정한다. 한편 대기시간 감소 편익은 금액으로 환산하기 위해 시간가치 개념을 적용한다.

## 기존 문헌 고찰

### 1. 공항 수요예측

공항수요예측은 일반적으로 계절적인 요인과 주기적인 요인이 크게 작용하는 비정상적인 시계열이다. 선행 연구에 따르면, ARIMA 기법은 일반적으로 계절적 또는 주기적인 변동이 있는 시계열을 예측하는데 적합한 모형으로 알려져 왔고, 공항수요의 예측에서 신뢰성 높은 예측결과를 보여 왔다. Tsui et al.(2014)는 계절형 ARIMA 모델과 ARIMAX 모델을 이용하여 홍콩 국제공항 이용승객을 예측하였다. 1993년부터 2010년까지의 과거자료를 기반으로 단변량 시계열 예측(계절형 ARIMA)뿐만 아니라 다변량 시계열(ARIMAX) 예측도 고려하여, 공항 수요에 영향을 미치는 내·외부적 요인의 효과를 분석하였다. Chen et al.(2009)는 Holt-Winters, 계절형 ARIMA 그리고 Grey 예측모형을 이용하여 일본, 홍콩, 미국에서 태국으로 오는 여행객들의 수요를 예측하였다. 이 연구에서는 승객의 타입을 여행목적, 비즈

니즈 목적, 기타 목적으로 구분하여 예측하였고, 계절형 ARIMA가 다른 예측방법보다 더 신뢰성 높은 예측결과를 보였다. Kulendran and Witt(2003)의 연구에서는 뉴질랜드, 영국, 미국에서 호주로 오는 여행객들에 대하여 구조모형, 오차교정모형, 구조적 시계열 모형, ARIMA 모형 등 다양한 예측방법들의 예측결과를 비교하였다. 그 결과, ARIMA 모형과 구조모형이 다른 예측방법들보다 뛰어난 예측결과를 보였다. 따라서 본 연구에서는 공항 수요의 신뢰성 높은 예측을 위해 ARIMA 수요예측 방법을 이용하여 공항 핵심시설 확장에 가장 기본이 되는 미래수요를 예측하였고, 인천공항의 입국승객을 대상으로 예측을 진행하였다.

## 2. 공항 터미널 승객흐름 분석 모형

Solar et al.(2009)은 공항통로와 프로세스(예를 들어, 입국 프로세스, 수하물 인수 프로세스)에서의 최대 지연 함수를 개발했다. 공항통로에서의 승객의 지체시간은 통로에서의 승객밀도, 일반적인 승객의 보행속도(264ft/min) 통로의 길이와 너비를 이용하여 계산되었다. 그리고 프로세스에서 세 가지 근사함수(삼각함수 모형, 반 타원모형, 포물선 모형)를 이용하여 승객의 최대 지연 함수를 계산하였다. Suryani et al.(2010)는 승객의 혼잡도를 계산하기 위해 평균 비행 수, 서비스 용량, 활주로 용량을 고려한 M/G/1 대기모형을 사용했다. Ronzani and Correia(2013)는 시뮬레이션 모델에 도착 프로세스와 관련된 다양한 사건들을 반영하여 지체시간을 측정하였다. 연구에서 비행기 종류, 비행기 좌석 점유율, 비행 도착시간 간격, 승객 특징, 컨베이어의 길이, 승객과 수하물이 컨베이어 벨트에 도착하는 시간 등의 사건들이 반영된 720개의 시나리오를 분석했다. 그러나 공항 터미널 내부 구조는 매우 복잡하고 공항수요가 불확실하기 때문에 공항의 다양한 상황을 반영한 승객흐름을 분석하는 모델을 구축하기란 쉬운 일이 아니다(Senay Solar et al., 2009). 따라서 본 연

구에서는 공항 입국 프로세스 중 승객이 수하물을 인수하는 프로세스를 중심으로 승객흐름 분석범위로 설정했고, 입국 프로세스에서 승객지체시간에 영향을 미치는 다양한 상황들을 반영한 시뮬레이션을 이용하여 승객지체시간을 측정하였다.

## 공항 승객 수요예측

### 1. ARIMA 모델

ARIMA 모델의 개념은 직관을 통한 정성적인 예측보다는 통계적 원리로 접근한 정량적 예측에 더 가깝다고 볼 수 있다. 이러한 ARIMA 모델은 자기회귀 프로세스(AR)와 이동평균 프로세스(MA)를 적절하게 선택함으로써 미래 수요를 예측한다. 또한, ARIMA 모델은 과거 데이터의 최근 기간에 많은 가중을 두어 수요를 예측하기 때문에 중·단기 수요예측에 적합하다고 알려져 있다. Box and Jenkins(1976)는 적합한 ARIMA 모델을 설정하기위해 figure 2와 같은 간단한 절차를 제시했다. 본 연구에서는 아래 절차에 따라서 인천공항의 입국 승객 대해서 2013년부터 2020년까지 수요를 예측했다. 수요 예측 과정의 세부 단계는 다음과 같다.

#### 1) 0단계 : 정상성

ARIMA 모형을 구축하기 위해서는 주어진 시계열 자료가 정상성을 만족해야 한다. 시계열의 정상성이란 시계열을 일정한 주기로 나누었을 때, 각 주기에 해당하는 평균과 분산이 일정하다는 의미이다. 본 연구에서는 미래공항수요를 예측하기 위해 인천공항 2001년부터 2012년까지의 과거 시계열 데이터를 활용하였으며, 시계열 데이터에 대한 정상성 만족여부를 분석했다. Figure 3에서 (a)는 실제 인천공항의 2001년부터 2012년까지 입국승객의 실제 수요를 나타내고 있고, 시간의 흐름에 따라 시계열의 추세가 점점 증가하면서 계절성을 갖는 것을 알 수 있다. 이는 인천공항의 시계열 데이터가 비정

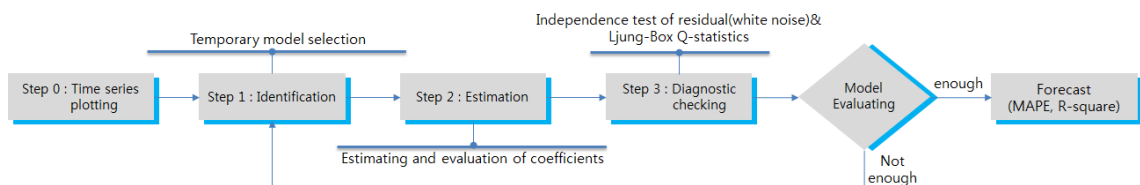


Figure 2. ARIMA model procedure

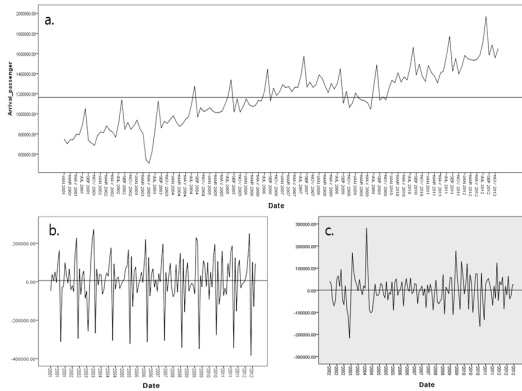


Figure 3. Time series plotting: (a) Actual time series data for Incheon Airport between 2001 and 2012; (b) Time series data after non-seasonal differencing; (c) Time series data after seasonal differencing

성상을 띄는 시계열 데이터이고, 정상성을 갖는 시계열 데이터로 만들어 주기위해 비계절 차분과 계절 차분이 필요함을 의미한다. Figure 3의 (b)와(c)는 인천공항 데이터를 비계절 차분과 계절 차분 후의 결과를 각각 나타내고 있다.

2) 1단계 : 식별

식별 단계에서는 시계열 내 관측값들의 자기상관함수 (Autocorrelation function, ACF)와 편자기상관함수 (Partial Autocorrelation function, PACF)를 측정하여 ARIMA(p,d,q)모형을 구성하는 자기회귀(Auto-regressive, AR)요소인 p와 이동평균(Moving Average, MA)요소인 q를 임시적으로 결정한다. Figure 4에서 인천공항 데이터의 비계절 차분과 계절 차분후의 자기상관함수를 살펴보면, 시차 2, 시차 10 그리고 시차 12에서 돌출부인이 있는 것을 발견할 수 있다. 시차2와 시차10의 돌출은 인천공항데이터가 이동평균 프로세스일 가능성이 존재하는 것을 의미하고, 시차 12에서 발생한 돌출은 계절성 이동평균 프로세스일 가능성이 있음을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 인천공항의 수요를 예측하기 위해 SARIMA(0,1,2)(0,1,1)<sub>12</sub>와 SARIMA(0,1,10)(0,1,1)<sub>12</sub>를 고려했다.

3) 2단계 : 추정

추정 단계에서는 식별단계에서 선택한 모형의 계수를 정확히 추정하며 이 추정된 모수가 통계적으로 유의한지 여부를 판단하여 모형의 적절성을 탐색할 수 있다. 특히,

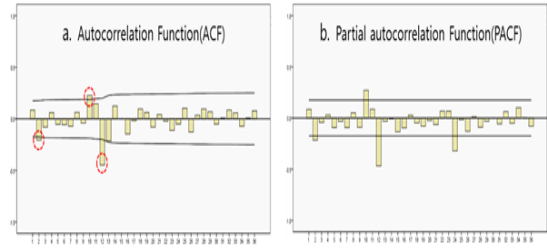


Figure 4. ACF and PACF after seasonal and non-seasonal differencing

Table 1. Coefficient estimation and evaluation

| SARIMA(0,1,10)(0,1,1) <sub>12</sub> |              | Value  | SE     | t-test | p-value |
|-------------------------------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| passenger                           | constant     | 4483.1 | 2845.6 | 1.575  | .118    |
|                                     | differencing | 1      |        |        |         |
| MA, lag 10                          |              | -.228  | .091   | -2.517 | .013    |
|                                     | differencing | 1      |        |        |         |
| MA, lag 12                          |              | .891   | .151   | 5.912  | .000    |
|                                     | differencing | 1      |        |        |         |

추정된 계수들의 절대값 크기를 통해서 정상성과 가역성 만족여부를 판가를 할 수 있다. 만약, 추정된 모수가 유의하지 않을 경우, 다시 식별단계로 돌아가서 다른 ARIMA 모형을 선별해야 한다. 일반적으로 ARIMA 모형에서는 자기회귀 프로세스의 정상성의 만족여부와 이동평균 프로세스의 가역성의 만족여부를 다음과 같이 판단한다.

$$|\Phi_p| < 1 \quad \Phi_p : \text{추정된 자기회귀 계수}$$

$$|\theta_q| < 1 \quad \theta_q : \text{추정된 이동평균 계수}$$

Table 1은 SARIMA(0,1,10)(0,1,1)<sub>12</sub>에 대한 계수 추정 및 통계적 유의성 검증을 나타내고 있다. 비계절 이동평균항(MA)의 시차 10에 대한 계수추정 값의 절대값은 0.228이고, 계절 이동평균항의 시차 1에 대한 계수추정 값의 절대값은 0.891로 가역성을 모두 만족했다. 그리고 통계량의 p값 모두가 5% 유의수준에서 모두 유의하지 않다. 이 결과 SARIMA(0,1,10)(0,1,1)<sub>12</sub>의 모형은 인천공항 데이터에 적합한 모형임을 알 수 있다.

4) 3단계 : 모형진단

모형검진단계에서는 추정된 모형이 통계적으로 적절한지 여부를 결정하는 단계이다. 이 단계에서는 ‘백색잡음’이 독립인지를 판단하는 것이 관건이며, 잔차 자기상관함수, 잔차 편자기상관함수, Box-Ljung 검증 통계량을 통해서 검증이 가능하다. Table 2는 SARIMA(0,1,10)(0,1,1)<sub>12</sub>의

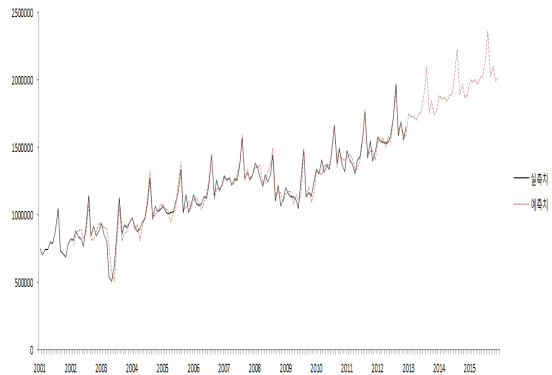
**Table 2.** Residuals ACF of SARIMA(0,1,10)(0,1,1)<sub>12</sub>

| Lag | ACF   | SE   | t-test         | Box-Ljung |    |             |
|-----|-------|------|----------------|-----------|----|-------------|
|     |       |      |                | Value     | df | P-value     |
| 1   | .045  | .087 | <b>0.5093</b>  | .26       | 1  | <b>.606</b> |
| 2   | -.017 | .088 | <b>-0.1951</b> | .30       | 2  | <b>.859</b> |
| 3   | .033  | .088 | <b>0.3770</b>  | .45       | 3  | <b>.929</b> |
| 4   | .032  | .088 | <b>0.3672</b>  | .59       | 4  | <b>.964</b> |
| 5   | -.091 | .088 | <b>-1.0325</b> | 1.73      | 5  | <b>.885</b> |
| 6   | -.096 | .088 | <b>-1.0799</b> | 3.00      | 6  | <b>.808</b> |
| 7   | -.039 | .089 | <b>-0.4398</b> | 3.21      | 7  | <b>.864</b> |
| 8   | .034  | .089 | <b>0.3857</b>  | 3.38      | 8  | <b>.908</b> |
| 9   | -.039 | .089 | <b>-0.4306</b> | 3.60      | 9  | <b>.936</b> |
| 10  | .067  | .090 | <b>0.7465</b>  | 4.24      | 10 | <b>.936</b> |
| 11  | .036  | .090 | <b>0.4039</b>  | 4.43      | 11 | <b>.955</b> |
| 12  | .040  | .090 | <b>0.4427</b>  | 4.66      | 12 | <b>.968</b> |
| 13  | .102  | .090 | <b>1.1257</b>  | 6.19      | 13 | <b>.939</b> |
| 14  | -.048 | .091 | <b>-0.5246</b> | 6.53      | 14 | <b>.951</b> |
| 15  | .034  | .091 | <b>0.3735</b>  | 6.70      | 15 | <b>.965</b> |
| 16  | -.052 | .091 | <b>-0.5705</b> | 7.12      | 16 | <b>.971</b> |
| 17  | -.067 | .092 | <b>-0.7262</b> | 7.79      | 17 | <b>.971</b> |
| 18  | .038  | .092 | <b>0.4150</b>  | 8.02      | 18 | <b>.978</b> |
| 19  | -.033 | .092 | <b>-0.3599</b> | 8.19      | 19 | <b>.985</b> |
| 20  | -.019 | .092 | <b>-0.2081</b> | 8.25      | 20 | <b>.990</b> |
| 21  | .010  | .092 | <b>0.1041</b>  | 8.26      | 21 | <b>.994</b> |
| 22  | -.030 | .092 | <b>-0.3202</b> | 8.40      | 22 | <b>.996</b> |
| 23  | -.042 | .092 | <b>-0.4498</b> | 8.68      | 23 | <b>.997</b> |
| 24  | -.040 | .092 | <b>-0.4357</b> | 8.94      | 24 | <b>.998</b> |
| 25  | -.008 | .093 | <b>-0.0888</b> | 8.95      | 25 | <b>.999</b> |
| 26  | -.079 | .093 | <b>-0.8549</b> | 9.99      | 26 | <b>.998</b> |
| 27  | .085  | .093 | <b>0.9169</b>  | 11.21     | 27 | <b>.997</b> |
| 28  | .016  | .094 | <b>0.1665</b>  | 11.26     | 28 | <b>.998</b> |
| 29  | -.029 | .094 | <b>-0.3093</b> | 11.40     | 29 | <b>.999</b> |
| 30  | -.055 | .094 | <b>-0.5889</b> | 11.92     | 30 | <b>.999</b> |
| 31  | .082  | .094 | <b>0.8678</b>  | 13.09     | 31 | <b>.998</b> |
| 32  | -.004 | .095 | <b>-0.0428</b> | 13.09     | 32 | <b>.999</b> |
| 33  | .066  | .095 | <b>0.6999</b>  | 13.87     | 33 | <b>.999</b> |
| 34  | -.081 | .095 | <b>-0.8491</b> | 15.03     | 34 | <b>.998</b> |
| 35  | -.053 | .095 | <b>-0.5517</b> | 15.54     | 35 | <b>.998</b> |
| 36  | .051  | .096 | <b>0.52987</b> | 16.01     | 36 | <b>.998</b> |
| 37  | -.113 | .096 | <b>-1.1835</b> | 18.40     | 37 | <b>.995</b> |
| 38  | -.005 | .097 | <b>-0.049</b>  | 18.40     | 38 | <b>.997</b> |

잔차 자기상관함수를 보여주고 있으며, 모든 시차에 대해서 p 값이 5% 유의수준에서 모두 유의함을 알 수 있다. 따라서 SARIMA(0,1,10)(0,1,1)<sub>12</sub>의 백색잡음의 독립을 확인했으며, 인천공항 수요예측을 위한 적합한 ARIMA모형임을 검증했다.

5) 4단계 : 수요예측

Figure 4는 SARIMA(0,1,10)(0,1,1)<sub>12</sub> 모형을 이용하여 인천공항 도착승객에 대한 2020년까지의 수요예



**Figure 4.** The results of the forecast of Incheon Airport between 2013 and 2015

측을 나타내고 있다. 2020년의 도착승객의 수요는 약 24,673천여명 정도로 예측되며, 8월 첨두시(peak period) 수요는 약 2,361천여명 정도로 추정됐다. 본 연구의 예측수요에 대한 MAPE 비율은 약 3.901%로 신뢰할만한 수준의 정확도를 보였다.

승객흐름 시뮬레이션 모형

1. 수하물 수취 프로세스 시뮬레이션

ARIMA 모형을 이용한 인천공항 입국승객에 대한 수요예측 값을 기반으로, 수하물 수취 프로세스에서의 승객지체시간을 측정하기 위한 시뮬레이션 모형을 개발했다. 시뮬레이션 모형은 Figure 5와 같이 승객의 도착과 수하물의 도착흐름의 범위 안에서 승객흐름에 영향을 미치는 요소를 고려하여 수하물 인수에 따른 승객지체시간을 측정할 수 있도록 모델링 되어졌다. 공항의 승객흐름은 공항에서 발생 할 수 있는 다양한 상황들에 의해 많은 영향을 받기 때문에 본 연구에서는 입국 승객의 흐름에 영향을 미치는 상황들(수하물 도착간격, 비행기 유형, 승객의 특징, 수하물 투입순서) 시뮬레이션 기초변수로 설정하였다. 공항의 모든 상황을 정확하게 반영하기 어렵기 때문에 입국 프로세스의 승객흐름에 영향을 미치는 요소들을 Ronzani and Correia(2013)의 연구를 활용하여 본 시뮬레이션 모형에 적용하였다.

1) 시뮬레이션 입력자료

입국승객에 대한 미래 수요예측을 기반으로 수하물 수취 프로세스 시뮬레이션의 초기 입력 데이터를 적용하기

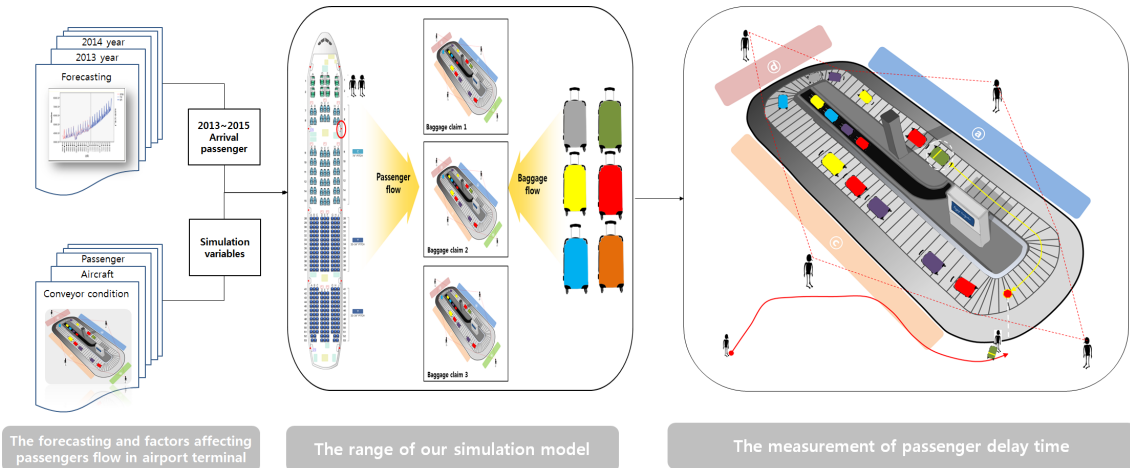


Figure 5. The baggage carousel simulation model flow

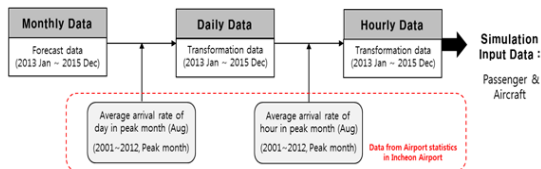


Figure 6. Data transformation to use simulation input data

위하여 본 연구에서는 Figure 6와 같이 월 별 수요예측 값을 시간대 별 입국승객의 값으로 변환하였다. 데이터 변환을 위하여 과거 10년 동안의 침두시 기간(8월)의 일 별, 시간대 별에 대한 입국승객 비율을 적용하였고, 인천 공항의 2013년부터 2015년까지 시간 대 별 스케줄 표를 시뮬레이션에 적용하여 승객의 지체시간을 분석하였다.

## 2) 승객의 도착

본 연구에서는 승객이 컨베이어에 도착하는 순서를 Table 4와 같이 내·외국인 별, 좌석 등급 별로 고려하였다. 일반적으로 내국인의 경우 외국인보다 입국심사시간이 상대적으로 짧기 때문에 먼저 수하물 컨베이어에 도착이 가능하고, 좌석등급이 높을수록 승객은 출입구에 가까이 위치하게 되기 때문에 컨베이어에 먼저 도착한다고 가정했다. 따라서 First Class를 이용한 내국인 승객이 가장 먼저 도착하고, Economy Class를 이용한 외국인 승객이 가장 늦게 도착하게 된다. 이를 기준으로 승객 도착 순서를 결정하였으며, 항공기 이용 고객 중 외국인 비율(20~40%) 변화를 반영하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

Ronzani는 각 승객 별로 인수해야하는 수하물의 개

Table 4. The sequence of passengers arrival

| Passenger | First Class | Business Class | Economy Class |
|-----------|-------------|----------------|---------------|
| Local     | 1           | 2              | 5             |
| Foreigner | 3           | 4              | 6             |

수는 수하물 인수에 대한 승객지체 시간에 영향을 미친다고 말하고 있다. 이 연구에서는 승객이 인수해야하는 짐의 개수를 1개와 2개로 설정하였고, 각 짐의 개수에 대한 비율(%)을 다양하게 적용하여 승객지체에 대한 영향관계를 도출하였다. 본 연구에서도 이와 마찬가지로 승객의 짐 개수에 대한 비율을 적용하여 시뮬레이션에 반영하였으며, 짐이 없는 승객과 있는 승객의 비율도 같이 적용하였다. 이러한 특징을 갖는 승객들은 Figure 7과 같이 중앙구간(a, b 구간)과 시작과 끝 구간(c, d 구간)에서 자신의 수하물을 기다리며, 수하물 인수한 후에 대기시간을 측정하였다.

## 3) 수하물의 도착

수하물 도착은 인천공항의 수하물 인수장 특징을 반영하기 위하여 다음과 같이 고려하였다. 첫째, 수하물은 좌석등급과 상관없이 무작위 적으로 투입된다. 둘째, 승객의 수하물은 승객이 수하물 수취장에 도착한 뒤에 도착하는 것으로 가정한다. 한 비행기에 탑승한 승객들이 수하물 수취 컨베이어에 도착하는 비율에 따라 수하물의 도착을 다양하게 적용하였다. 셋째, 수하물의 투입은 수하물의 투입제한 조건과 재투입 조건을 따른다. 수하물의 투입제한 조건은 Figure 7과 같이 수하물 수취컨베이어의 최대부하를 이용하여 컨베이어 상에 있는 수하물의 무게

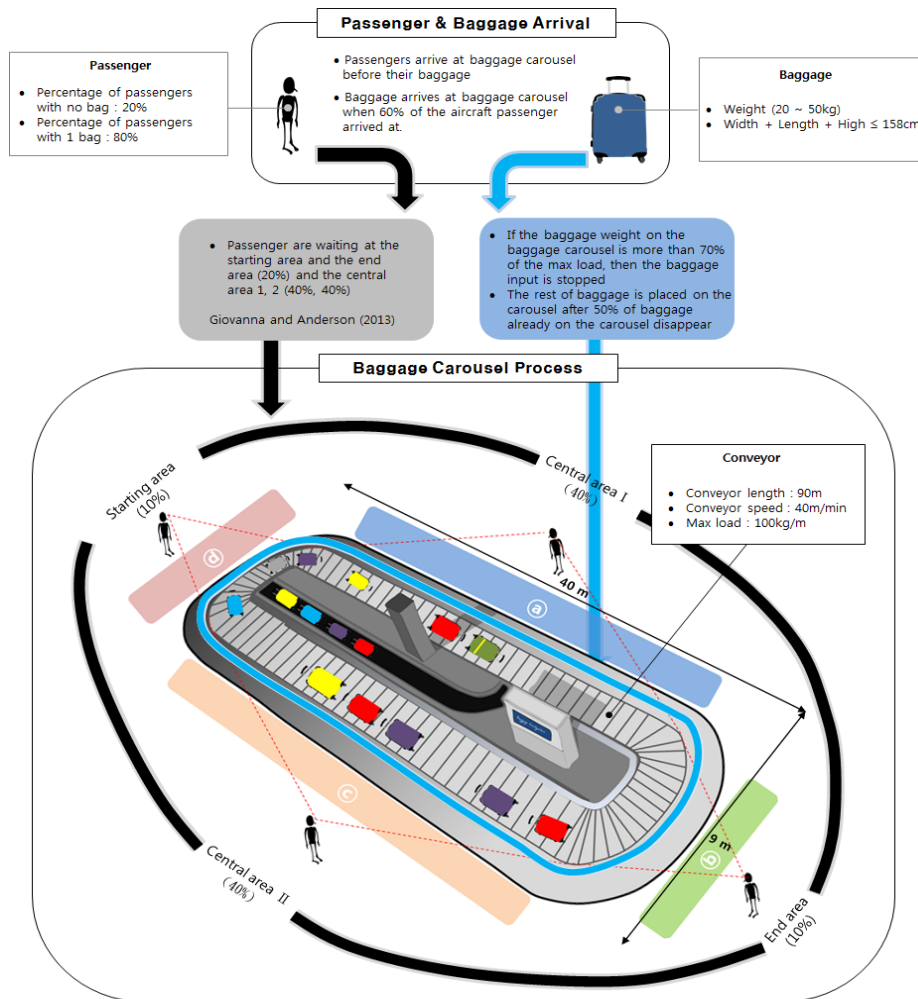


Figure 7. Detailed flow of baggages and passengers

가 컨베이어의 최대부하를 초과하면 수하물 투입을 제한하고, 컨베이어 상의 수하물 무게가 컨베이어의 최대부하의 50%가 되면 재투입 되도록 적용하였다.

## 2. 시뮬레이션 결과

2013년부터 2015년에 대한 미래 공항 입국승객 예측값을 기반으로 현재 인천공항에 설치되어 있는 23개의 수하물 수취컨베이어에 대한 시뮬레이션 실험결과는 Table 5와 같다. 2013년부터 2015년까지 누적 승객 74,289천명에 대한 수하물 인수에 따른 한 명당 평균 대기시간은 약 14.57분이며, 컨베이어에 확장에 따른 승객의 편익을 산정하기 위한 총 대기시간은 약 18,085천 시간 정도로 측정되었다.

## 수하물 수취 컨베이어 확장 계획

### 1) 확장모형

컨베이어 확장 계획은 2015년에 예측된 미래 도착승객 수요에 대하여 적정 컨베이어 확장 대수를 결정하는 것을 고려하였다. 적정 컨베이어 대수를 결정하기 위해 본 연구에서는 컨베이어 확장에 따른 승객의 지체시간 감소분에 대한 편익과 컨베이어 건설비용을 고려하여 경제적 타당성을 검토 하였다. Figure 8과 같이 컨베이어를 한 대씩 추가하면서 편익과 비용의 관계를 파악하여 2015년 도착승객 수요에 대한 컨베이어 확장 적정 대수를 결정하였다.

### 2) 비용과 편익

컨베이어를 추가하게 되면, 승객의 대기시간은 감소

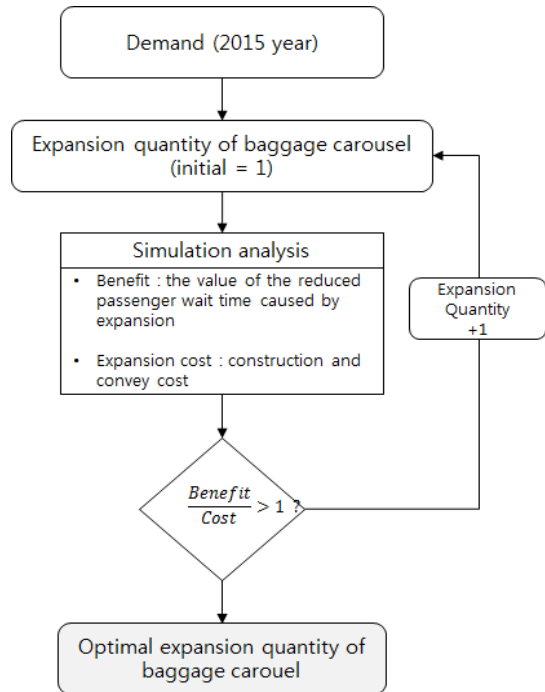
**Table 5.** Passenger delay time of simulation results  
(unit: thousand(people), thousand(hour), one(minute))

| 년     | 분기  | Arriving Passenger | Cumulative delay time | Average delay time |
|-------|-----|--------------------|-----------------------|--------------------|
| 2013  | 1/4 | 5,579              | 1,354                 | 14.68              |
|       | 2/4 | 5,599              | 1,365                 | 14.51              |
|       | 3/4 | 6,156              | 1,538                 | 15.04              |
|       | 4/4 | 5,749              | 1,377                 | 14.32              |
| 2014  | 1/4 | 6,015              | 1,491                 | 14.77              |
|       | 2/4 | 6,026              | 1,461                 | 14.51              |
|       | 3/4 | 6,593              | 1,648                 | 14.98              |
|       | 4/4 | 6,140              | 1,429                 | 13.87              |
| 2015  | 1/4 | 6,418              | 1,564                 | 14.64              |
|       | 2/4 | 6,449              | 1,552                 | 14.35              |
|       | 3/4 | 7,019              | 1,761                 | 15.00              |
|       | 4/4 | 6,547              | 1,544                 | 14.11              |
| Total |     | 74,289             | 18,085                | 14.57              |

하지만, 증설에 따른 비용 증가가 불가피하다. 따라서 시간을 비용으로 환산하는 시간가치<sup>1)</sup> 개념을 적용해야만 비용편익 분석이 가능해진다. 본 연구에서는 컨베이어 1대를 추가할 때 발생하는 승객의 편익(컨베이어 추가 시 대기시간 감소분 × 항공여객의 시간가치)을 컨베이어 설치비용으로 나눈 값으로 컨베이어 증설에 따른 경제적 타당성을 검증했다. 비용편익 분석에 사용된 컨베이어 설치비용은 Table 6과 같이 실제 수하물 수취 컨베이어 공사비용 자료를 이용하였고, 편익은 인천국제공항 교통수단 별 접근교통수요 예측(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011) 연구에서 제시된 승객의 지체시간 감소에 따른 시간감소 가치비용(31,736원)을 적용하였다.

### 실험결과

Figure 8의 수하물 수취 컨베이어 확장 모형을 기반



**Figure 8.** Heuristic algorithm for baggage carousel expansion planning

**Table 6.** Expansion cost (unit: million won)

| The length of conveyor | Construction cost | Conveyor cost | Total |
|------------------------|-------------------|---------------|-------|
| 90m                    | 190               | 210           | 400   |

으로 2015년의 도착항공 승객 수요에 대한 컨베이어 적정 확장대수는 Table 7과 같이 나타났다. 일반적으로 B/C 비율이 1보다 크면 편익이 비용을 상쇄하므로 사업의 경제성이 확보되고, 이 비율이 크면 클수록 사업의 비용 한 단위 당 편익의 발생이 크므로 경제적 효과가 큰 사업이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 2015년에 인천

**Table 7.** The result of baggage carousel expansion planning (unit: thousand(people), thousand(hour), million(Won))

| The number of conveyor expansion | Arriving Passenger 2015 | Cumulative delay time | Benefit | Cost  | BC Ratio |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|-------|----------|
| 0                                |                         | 6,423                 | -       | -     | -        |
| 1                                | 26,434                  | 6,233                 | 759     | 400   | 1.89     |
| 2                                |                         | 6,228                 | 909     | 800   | 1.13     |
| 3                                |                         | 6,207                 | 1,582   | 1,200 | 1.31     |
| 4                                |                         | 6,208                 | 1,551   | 1,600 | 0.97     |

1) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Appraisal Guidelines for Transport Facilities Investment (Forth Edition)(2011)에 따르면 항공여객의 시간가치란 절감된 통행시간을 생산 활동에 투입할 수 있다는 가정으로, T년의 시간가치는  $\frac{t \text{년 교통수단 승객의 평균연수입}}{t \text{년 교통수단 승객의 연간 노동시간}} = T \text{년의 시간가치}$  와 같다. 연평균 수입과 노동 시간은 The Korea Transport Institute, A Study on Restructuring of the Local Airports in Korea(2006) 연구에서 제시된 값을 바탕으로 환산하여 적용하였다.



공항을 이용하는 승객의 수요(26,434천여 명)에 대하여 컨베이어를 확장하지 않았을 경우(총 컨베이어 23 대)의 수하물 수취장에서 승객이 대기하는 승객에 대한 누적 대기시간 (약 6,423천 시간)을 기준으로 컨베이어 확장에 대한 승객의 편익을 산정하였다. 그 결과, 수하물 수취 컨베이어를 3대까지 확장할 경우 BC 비율이 1.31 이었고, 4대를 확장할 경우 BC 비율이 0.97이었다. 즉, 승객의 지체시간의 감소에 영향을 주는 추가 수하물 수취 컨베이어의 적정 확장대수는 3대이며, 그 이상일 경우에는 승객의 지체시간에 영향을 미치긴 하지만 경제적으로 타당하지 않은 결과를 보였다. 또한 각 컨베이어 확장 대수에 대한 결과를 살펴보면, 컨베이어를 1대 확장할 경우 편익 759 백만원, BC 비율은 1.89로 2대, 3대로 확장할 때보다 높기 때문에 확장비용 대비 승객의 편익이 가장 크다고 볼 수 있다.

### 결론

본 연구의 목적은 수하물 수취장의 운영적 측면과 미래 공항수요의 패턴을 고려하여 수하물 수취 컨베이어의 적정 확장대수를 결정하는 방법론을 제시하는 것이다. 제안한 방법론은 첫째, ARIMA 모델을 이용한 도착승객 수요예측, 둘째, 수하물 인수에 대한 승객의 대기시간 측정을 위한 시뮬레이션 모델, 셋째, 수하물 수취 컨베이어 확장에 대한 비용-편익분석으로 구분 할 수 있다. 실험은 인천공항의 실제사례를 통하여 본 연구가 제안하는 방법론의 적용가능성을 입증하기 위하여 수행되었다. 본 연구에서는 수요예측과 시뮬레이션 분석의 상호작용, 시뮬레이션과 비용편익분석의 통합적인 분석을 통해 공항 뿐만 아니라 이와 비슷한 다른 산업에도 용량 확장계획에 대하여 적용 가능한 방법론을 제시하였다.

### REFERENCES

Andreoni A., Postorino M. (2006), A multivariate ARIMA model to forecast air transport demand, Proceedings of the Association for European Transport and Contributors, 1-14.  
 Box and Jenkins (1976), Time series analysis: Forecasting and control, Holden Bay, San Francisco, 10  
 Chen C., Chang Y., Chang Y. (2009), Seasonal ARIMA forecasting of inbound air travel arrivals to Taiwan,

Transportmetrica 5, 125-140.  
 Jorge J. D., De Rus G. (2004), Cost-benefit analysis of investments in airport infrastructure: a practical approach, J Air Transp Manag., 10(5), 311-326.  
 Kelton W. D., Sadowski R. P., Sturrock D. T. (2004), Simulation with Arena, 3d ed., McGraw-Hill, New York.  
 Kulendran N., Witt S. F. (2003), Forecasting the demand for international business tourism, J Travel Res., 41(3), 265-271.  
 Lewis C. D. (1982), Industrial and business forecasting methods, London: Butterworths, 37.  
 Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2011), Appraisal Guidelines for Transport Facilities Investment (Forth Edition) 교통시설 투자평가지침 제4차 개정.  
 Ronzani Borille G. M., Correia A. R. (2013), A method for evaluating the level of service arrival components at airports, J Air Transp Manag., 27, 5-10.  
 Solar S., Clarke J. P. B., Johnson E. L. (2009), Airport terminal capacity planning, Transport Res B., 43(6), 659-676.  
 Suryani E., Chou S. Y., Chen C. H. (2010), Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework, Expert Syst Appl., 37(3), 2324-2339.  
 The Korea Transport Institute (2006), A Study on Restructuring of the Local Airports in Korea, 63.  
 Tsui W. H. K., Ozer Balli H., Gilbey A., Gow H. (2014), Forecasting of Hong Kong airport's passenger throughput, Tourism Manage., 42, 62-76.

- ✎ 주 작성자 : 윤성욱
- ✎ 교신저자 : 정석재
- ✎ 논문투고일 : 2014. 3. 27
- ✎ 논문심사일 : 2014. 4. 30 (1차)  
2014. 5. 25 (2차)
- ✎ 심사판정일 : 2014. 5. 25
- ✎ 반론접수기한 : 2014. 12. 31
- ✎ 3인 익명 심사필
- ✎ 1인 abstract 교정필