

시계열 자료의 안정성을 고려한 항공수요 계량경제모형 개발

박재상 · 김병중 · 김원규 · 장은혁
한국항공대학교 항공교통물류학부

The Development of Econometric Model for Air Transportation Demand Based on Stationarity in Time-series

PARK, Jeasung* · KIM, Byung Jong · KIM, Wonkyu · JANG, Eunhyuk

Department of Air Transport, Transportation and Logistics, Korea Aerospace University,
Gyeonggi 412-160, Korea

*Corresponding author: planner_air@naver.com

Abstract

Air transportation demand is consistently increasing in Korea due to economic growth and low cost carriers. For this reason, airport expansion plans are being discussed in Korea. Therefore, it is essential to forecast reliable air transportation demand with adequate methods. However, most of the air transportation demand models in Korea has been developed by simple regression analysis with several dummy variables. Simple regression analysis without considering stationarity of time-series data can bring spurious outputs when a direct causal relationship between explanatory variables and dependent variable does not exist. In this paper, econometric model were developed for air transportation demand based on stationarity in time-series data. Unit root test and co-integration test are used for testing hypothesis of stationarity.

Keywords: air transportation demand, co-integration, econometric model, jeju international airport, stationarity, time series data

초록

우리나라 항공 여객수요는 2014년 기준 국제선 5,700만명, 국내선 2,400만명에 도달하였으며, 지속적인 증가 추세를 보일 것으로 예상되고 있다. 이에 따른 국내 공항시설들의 확충 계획이 활발히 진행되고 있으며, 이를 위해 선행적으로 항공수요 예측을 위한 모형 개발이 필요하다. 우리나라에서는 국내총생산을 설명변수로 한 계량경제모형을 주로 항공수요 모형으로 이용하고 있으며, 시계열 자료의 안정성을 고려하지 않을 때 발생하는 허구적 회귀 현상에 대한 많은 논의가 이루어지지 않은 상태이다. 본 연구에서는 시계열 자료의 안정성을 고려한 항공수요 계량경제모형을 개발하였다. 시계열 자료의 특성을 검정하기 위한 단위근 검정과 변수들 간의 장기균형관계를 분석하기 위한 공적분 검정에 대한 이론적 고찰을 수행하였다. 마지막으로, 시계열 자료의 안

J. Korean Soc. Transp.
Vol. 34, No. 1, pp.95-106, February 2016
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.1.095>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 7 December 2015

Revised: 4 January 2016

Accepted: 31 January 2016

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under
the terms of the Creative Commons Attribution
Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>)
which permits unrestricted non-commercial use,
distribution, and reproduction in any medium,
provided the original work is properly cited.

정성을 고려한 항공수요 계량경제모형 개발 프로세스를 정립하였다. 정립된 프로세스의 적용 가능성을 검증하기 위해 제주공항 국내선 수요를 대상으로 항공수요 모형을 산정하였다. 수요 모형의 설명변수는 국내총생산과 항공요금지수를 이용하였으며, 기존 항공수요 계량경제모형에서 발생하는 문제점을 해소한 것으로 나타났다.

주요어: 항공수요, 공적분, 계량경제모형, 제주공항, 안정성, 시계열 자료

서론

1. 연구배경 및 목적

2014년 기준 우리나라의 항공 여객수요는 국제선 5,700만인, 국내선 2,400만인 수준까지 도달하였다(항공진흥협회, 항공통계). 국제선 수요는 최근 10년 간 약 2.1배 성장하였으며, 연평균 7.7%의 성장률을 나타내고 있다. 국내선은 2004년 고속철도 개통 이후 내륙노선 수요 감소 현상이 발생하였으나, 최근 안정세를 보이고 있다. 또한, 제주노선을 중심으로 국내선 수요가 성장하고 있다.

증가하는 항공수요에 발맞추어 국내 공항들의 시설 확충 계획이 활발히 수립되고 있다. 장래 공항 시설 계획의 시작은 항공수요 예측에서부터 진행된다. 따라서 항공수요가 과다 추정될 경우 적정 수준을 초과하는 시설이 건설되어 국가예산낭비, 시설 유향화, 유지관리비용 증대 등의 문제점을 발생시킨다. 반대로, 항공수요를 과소 추정하여 필요한 규모보다 작은 시설이 건설되면, 공항 이용객(여객, 항공기, 화물)이 과도한 지체를 경험하게 된다. 이러한 지체에 따른 시간과 비용의 손실은 사회적 비용과 환경오염 초래 등을 초래한다. 따라서 장래 항공수요의 정확한 추정은 매우 중요한 사항으로 논의되고 있다.

항공수요예측 시 우리나라에서 주로 사용하는 모형은 GDP를 기반으로 한 계량경제모형이다. 최근 계량경제학문 분야에서는 이와 같은 단순한 계량경제모형을 보완하기 위한 다양한 개선된 모형이 제시되고 있다. 특히, 시계열 자료를 이용할 때 허구적 회귀(spurious regression) 문제점을 발견하고 해소하기 위한 노력이 있었다. 항공수요모형 분야에서도 허구적 회귀에 대한 지적이 있었으나, 실제 적용 사례는 매우 적은 것으로 파악되었다(Korea Transport Institute, 2012).

이에 본 연구는 시계열 자료를 고려한 항공수요예측 관련 기존연구를 검토하고, 시계열 자료의 안정성(stationarity)을 확보한 항공수요예측 계량경제모형을 개발하고자 하였다. 또한, 제주공항 국내선에 본 연구의 모형을 적용시켜 모형의 적정성을 판단하였다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 총 5개의 과정으로 구성되어 있으며, 각 장별 연구내용은 다음과 같다. 첫 번째로 연구의 배경 및 목적을 설정하여 본 연구의 방향성을 수립하였다. 두 번째는 문헌고찰을 통해 과거 항공수요모형 개발 시 중점을 둔 사항을 검토하였다. 또한, 연구방법론으로 시계열 자료의 안정성, 변수 간 장기균형관계에 대해서 고찰하였다. 세 번째로는 과거 항공수요 계량경제모형 개발 프로세스 중 부족했던 시계열 자료의 안정성을 검증하는 과정을 추가하여 항공수요 계량경제모형 개발 프로세스를 개발하였다. 네 번째로는 제주공항 국내선 사례에 적용하여 본 연구에서 개발된 모형의 검증을 실시하였다. 마지막으로 본 연구의 결론과 향후 연구과제에 대해 제시하였다.

본 연구에서 사용한 주요 연구 방법론은 다음과 같다. 각 변수의 시계열자료를 단위근 검정(Unit Root Test) 중 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정 방법으로 각 변수의 안정성을 판단하였다. 또한, 단위근 검정의 결과에 따라 공적분 검정(co-integration Test) 중 요한슨 검정(Johansen co-integration test)을 실시하여

변수 간 장기균형관계를 판단하였다.

마지막으로, 통계적 안정성이 확보된 여러 모형 중 가장 우수한 모형을 선택하기 위해 평균제곱오차(MSE; Mean Squared Error)와 평균절대값퍼센티오차(MAPE; Mean Absolute Percentage Error) 값을 비교하였다. 이 방법들은 과거 실적치와 모형이 계산한 값의 차이를 비교하는 방법이다. 항공수요모형 개발의 궁극적 목표는 정확한 장래 수요예측에 있으나, 실제 장래 수요예측은 모형의 적정성 외에도 항공환경, 정책 등의 외부적 영향에 의해 차이가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 개발된 모형들 간의 비교, 분석을 위해 실적자료 설명력을 사용하였다.

본 연구에서는 계량경제 분석에 특화된 EViews 8(IHS Global Inc.) 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램은 계량경제모형의 추정 및 검정 결과를 정확하고 빠르게 산출해주는 소프트웨어이다.

기존 관련 연구 고찰

항공수요예측과 관련된 선행연구에서는 ARIMA 모형, VAR(Vector Auto Regressive) 모형, VECM(Vector Error Correction Model) 등 다양한 모형과 시스템 다이내믹스(system dynamics) 기법도 이용한 것으로 파악되었다.

Erma Suryani 외 2명(2010)은 시스템 다이내믹스를 통해 활주로 및 터미널 수요를 예측하였다. 이 때 영향을 미치는 요인으로는 항공요금, 서비스 수준(LOS; Level of Service), GDP, 인구, 일일 운항횟수, 턴어라운드 타임(turnaround time)으로 선정하였다. 각 요인의 상관관계를 통해 항공수요를 예측하였다. 이 연구는 시스템 다이내믹스 모형의 특성상 많은 인과변수를 사용하여 항공수요를 설명하는 데 중점을 두었다. 해당 모형을 이용한 수요 예측을 위해서는 다양한 변수의 예측치가 필요한 문제점이 있다.

Alberto Andreoni 외 1명(2006)은 ARIMA 모형을 통해서 항공수요를 예측했으며, 상수항을 넣은 경우와 넣지 않은 경우를 비교하였다. 또한, ARIMA 모형에 1인당 수입과 운항횟수를 적용한 ARIMAX 모형을 도출하여 세가지 경우를 비교하였고 최종적으로 ARIMAX 모형을 선택하였다. Hur N.K. et al.(2009)은 계절형 VAR 모형이 일변량 시계열 분석인 계절형 ARIMA 모형보다 시계열들 사이의 관계를 분석하는데 유용하므로 항공수요 예측 시 보다 예측력이 높은 모형을 가진다고 결론지었다. Baik S.H. et al.(2008)는 제주-내륙간 국내선 항공여객수요모형을 월별 시계열 총량자료를 이용하여 단순시계열모형과 부분조정모형으로 추정된 후 모형별 탄력성을 산출하였다. 시계열모형을 이용한 수요모형은 사회, 경제상황 등의 외부적 요인을 감안할 수 없는 한계가 있다.

Kim B.J. et al.(2008)은 부산권 항공수요 예측 시 기본변수를 부산 GRDP, 부산 인구, 전국 1인당 소득과 각 노선의 항공, 철도의 요금 및 시간을 적용하여 예측하였다. 또한, 고속철도 개통, 공항별 주요고속도로 개통 및 IMF를 터미변수로 추가하여 예측하였다. Lee Y.H. et al.(2009)는 남북한 연결 항공교통 수요를 예측하기 위해 회귀분석을 이용하였다. 이 연구에서는 전체 남북한 교류인원을 회귀분석으로 예측한 후 항공교통 비중을 적용하여 항공여객 수요를 예측하였다. 상기 두 연구에서는 모두 시계열 자료의 특성을 감안하지 않은 단순 회귀분석을 수행한 것으로 나타났다.

Korea Transport Institute(2012)에서는 기존의 항공수요 예측 방법론에 대해 시계열 자료의 특성을 고려하지 않은 점을 지적하였다. 이후 시계열 자료의 안정성을 감안한 모형인 차분 변환한 변수를 이용한 계량경제모형을 제시하였다. 이 연구는 항공수요모형 분석 시 시계열 자료의 안정성에 대한 논의가 시작된 연구이나, 변수 간의 장기적 균형관계에 대한 검토나 적용은 중점을 두지 않았다.

UK Department for Transport(2011)에서는 항공수요예측에 대한 연구를 수행하여 주기적으로 발표하고 있다. 이 연구에서는 영국의 각 권역별 항공수요를 예측할 뿐만 아니라 이산화탄소 배출량을 예측하여 영국의 항공산업이 얼마나 환경에 영향을 미치는지도 명시하고 있다. 이 연구에서는 시계열 자료를 통한 항공수요예

측 모형을 만들기 위해서, 계량경제학적 분석 방법론을 적용하였다. 이를 통해 허구적 회귀현상을 피하기 위해서 UECM(Unrestricted Error Correction Model)을 제시하였다. 이는 항공수요를 차분한 변수를 항공수요에 영향을 미치는 요인을 차분한 변수와 오차항을 설명변수로 둔 모형이다. 영국 교통부는 UECM을 통해서 각 권역별 항공수요를 예측한 결과 과거 항공수요 예측치에 대한 설명력이 높게 나왔으며, 결정계수(R^2)는 0.6-0.9의 값을 나타냈다. 영국은 우리나라와 달리 실제 공항계획을 수립할 때, 시계열 자료의 안정성을 고려하여 위와 같은 모형을 제시한 것으로 나타났다.

연구의 방법론

본 연구에서 주목한 시계열 자료의 특성은 크게 자료 자체가 가지고 있는 안정성과 변수 간의 균형관계로 구분될 수 있다. 본 장에서는 이 두 가지에 대한 이론을 고찰하였다. 이를 통해 항공수요 계량경제모형 개발 시 시계열 자료의 특성을 충분히 고려하고자 하였다.

시계열 자료의 안정성은 시간에 따라 데이터가 변화하는 양상에 대한 분석이며, 시간의 흐름에 따라 변화하는 추세가 유사할 경우 계량경제모형이 잘못될 수 있음을 방지하는 것이다.

변수 간의 균형관계는 계량경제모형 내 종속변수와 독립변수가 시간의 흐름에 따라 상관관계가 유지되는지를 분석하는 것이다. 이와 같은 상관관계가 유지될 경우 보다 정밀한 모형 개발이 가능하다.

1. 시계열 자료의 안정성(stationarity)

안정적인 시계열(stationary time-series data)이란 시간이 흘러도 시계열의 평균, 분산 등이 변하지 않는 시계열을 뜻한다. 이와 반대로 불안정적인 시계열(nonstationary time-series data)은 t년도의 데이터가 (t-1)년도의 데이터에 의존하여 시간의 흐름에 따라 평균과 분산이 변화하는 시계열을 의미한다.

시간에 따른 추세가 있는 불안정적인 시계열 자료들로 회귀분석을 수행할 경우 종속변수와 독립변수 사이에 인과관계가 없어도 회귀계수가 유의하고 결정계수 또한 높은 값이 나올 수 있으며, 이러한 현상을 허구적 회귀(spurious regression)라 부른다(Granger and Newbold, 1974).

시계열 데이터의 안정성 관계를 검증하기 위해 Auto Regressive Model (AR(1)) 모형을 기준으로 시계열 자료를 표현하였다. (1)을 보면 t년도의 Y값은 (t-1)년도의 Y값에 β 만큼 곱한 값과 α (drift) 함으로 이루어지는 것을 알 수 있다. 이 식은 추정된 α 와 β 와 이것으로 설명할 수 없는 부분은 ϵ 으로 채워지게 된다 (Johnston J. et al., 1997).

$$Y_t = \alpha + \beta Y_{t-1} + \epsilon_t, \quad \epsilon_t \sim iid(0, \sigma^2) \quad (1)$$

(1)의 (t-1)년도의 Y값은 (t-2)년도의 Y값으로 설명 가능하며, 이와 같이 전연도의 값으로 t년도의 Y값을 설명할 수 있다. 이를 정리하면 (2)와 같다.

$$Y_t = \alpha(1 + \beta + \beta^2 + \beta^3 + \dots) + (\epsilon_{t-1} + \beta\epsilon_{t-2} + \beta^2\epsilon_{t-3} + \dots) \quad (2)$$

각 연도의 오차 값에 β 의 자승이 곱해진 값의 평균은 결국 0이 되므로 t년도의 Y값의 평균은 (3)과 같이 된다.

$$E(Y_t) = \alpha(1 + \beta + \beta^2 + \dots) \quad (3)$$

즉, β 의 절대 값이 1보다 크게 되면 t연도의 Y값의 평균은 발산하고, 1보다 작을 경우에는 수렴하게 되며 (4)와 같다.

$$E(Y_t) = \mu = \frac{\alpha}{1-\beta} \quad (4)$$

자료의 분산을 구하기 위해서 t연도의 Y값에서 μ 를 제하면 (5)와 같이 정리되며, t연도의 Y값의 분산을 구하기 위해서는 (5)의 제곱의 평균은 구하여 (6)을 도출할 수 있다.

$$(Y_t - \mu) = \epsilon_t + \beta\epsilon_{t-1} + \beta^2\epsilon_{t-2} + \dots \quad (5)$$

$$\text{var}(Y_t) = E[(Y_t - \mu)^2] = E[u_t^2 + \beta^2 u_{t-1}^2 + \beta^4 u_{t-2}^2 + \dots + 2\beta u_t u_{t-1} + 2\beta^2 u_t u_{t-2} + \dots] \quad (6)$$

시계열 자료의 분산 값은 (7)과 같이 나오게 되며, β 값의 절대값이 1보다 작을 경우(안정적인 시계열일 경우)에는 평균과 분산이 시간에 독립적이므로 데이터가 안정적임을 알 수 있다.

$$\text{var}(Y_t) = \sigma_y^2 = \frac{\sigma^2}{1-\beta^2} \quad (7)$$

(1)에서 β 가 1인 경우 (8)과 같이 정리될 수 있으며, 이를 무작위 보행(Random walk) 식이라고 부른다. t연도의 Y값은 (t-1)연도의 값에 α (drift)값 만큼 계속 상승하고 임의의 값인 t연도의 ϵ 만큼 무작위로 움직이기 때문이다.

$$Y_t = \alpha + Y_{t-1} + \epsilon_t \quad (8)$$

이러한 경우를 단위근(unit root)을 가진다고 말하며, 단위근을 가지고 있는 경우에 불안정한 시계열로 판단한다. 즉, 단위근 검정을 통해 시계열 데이터가 안정성을 확보하고 있는지를 확인할 수 있다. 만약 단위근을 가지고 있을 경우 이는 불안정한 시계열이며, 평균과 분산이 연도에 따라 변화하게 된다. 단위근이 있을 경우 평균값은 (9)와 같이 연도의 변화에 따라 값이 변하게 된다.

$$E(Y_t | Y_0) = \alpha t + Y_0 \quad (9)$$

또한 분산 값의 경우에도 (10)과 같이 연도의 변화에 따라 값이 변하게 된다.

$$\begin{aligned} \text{var}(Y_t | Y_0) &= E[(Y_t - E(Y_t | Y_0))^2] \\ &= E[(\epsilon_t + \epsilon_{t-1} + \dots + \epsilon_1)^2] \\ &= t\sigma^2 \end{aligned} \quad (10)$$

즉, 이러한 경우를 단위근을 가지는 시계열 또는 불안정한 시계열이라고 부르며, 귀무가설을 β 가 1일 경우로 두고 검정을 실시하는 것이 단위근 검정이다. 이때 귀무가설을 기각하지 못하는 경우의 시계열 데이터는 I(1) 시계열이라 부르며, 기각할 경우에는 I(0) 시계열, I(1) 시계열은 1차 차분(differencing)하게 되면 I(0) 시계열이 되며, 차분의 과정을 두 번 거쳐야 안정 시계열이 되는 자료를 I(2) 시계열이라 한다.

단위근 검정 시에는 각 시계열 자료의 특성에 따라 상수항과 시간추세가 없는 경우, 상수항만 존재하는 경우, 상수항과 시간추세가 모두 있는 경우를 선택하여 검정해야한다. 이에 따라 단위근 존재의 유무가 변화할 수 있으므로 원 데이터의 특성을 파악한 후 단위근 검정을 실시해야한다.

단위근 검정은 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정, PP(Phillips-Perron) 검정, KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt and Shin) 검정 등 여러 방법이 있다. 본 연구에서는 일반적으로 쓰이는 ADF 검정을 기준으로 단위근 검정을 실시하였다.

2. 변수 간의 장기 균형 관계(long-term equilibrium)

공적분 검정이란 시계열 자료들이 서로 장기적인 균형관계를 가지고 있는지 판별하는 분석 방법이다. 공적분 관계가 있을 시 차분모형을 사용하게 되면 변수 간 장기적인 균형이 사라지게 되는 오류를 범하게 될 수 있다. 공적분 관계가 없을 시에는 각 변수를 차분한 후 회귀분석을 실시하는 것이 바람직하며, 공적분 관계 존재 시 장기균형관계를 추가하여 회귀분석을 실시해야 한다. 즉, 장기적인 추세를 소실하지 않는 모형인 오차수정모형(ECM; Error Correction Model)을 사용하는 것이 바람직하다.

공적분 관계를 판별하기 위해서는 시계열 간 일반적인 회귀분석을 실시하는 것에서부터 시작된다. 예를 들어 종속변수 Y와 설명변수 X가 I(1) 시계열임을 가정하였을 때 일반적인 단순회귀식은 (11)과 같다.

$$Y_t = a_0 + a_1 X_t + r_t \tag{11}$$

(11)은 t연도의 Y값을 기준으로 정리되어 있으며, 이 식을 오차항을 기준으로 재배열 하면 (12)와 같이 정리될 수 있다.

$$r_t = Y_t - a_0 - a_1 X_t \tag{12}$$

이 때 도출된 오차항의 안정성 분석을 통해 I(0) 시계열 자료일 경우, 불안정한 시계열인 I(1) 자료들로 회귀분석한 결과가 장기적으로 안정적인 관계가 있음이 증명된다. 이러한 경우를 공적분 관계가 있다고 정의한다.

공적분 검정에는 Engle-Granger 검정법과 Johansen Likelihood 검정법 등이 있으며, 본 연구에서는 공적분 검정 시 주로 사용되는 Johansen Likelihood 검정법을 사용하였다.

이러한 공적분 관계가 존재할 경우에는 오차수정모형을 사용해야 하는 것이 바람직하다. 오차수정모형은 차분변수의 정보와 균형오차의 정보를 한 모형에 적용하여, 안정성을 고려하면서 장기적인 균형관계를 한 모형에 적용할 수 있기 때문에 장점을 가지고 있다. 오차수정모형은 일반적인 회귀모형인 (13)부터 시작된다.

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \epsilon_t \tag{13}$$

(t-1)년도의 균형오차인 ϵ 에 대해 정리하면 (14)과 같으며, 공적분 관계가 있는 경우이므로 이는 안정적인 시계열이다.

$$\epsilon_{t-1} = Y_{t-1} - \alpha - \beta X_{t-1} \tag{14}$$

또한, (12)를 차분하게 되면 (15)와 같이 차분모형으로 정리된다.

$$\Delta Y_t = \beta \Delta X_t + \epsilon_t \quad (15)$$

차분변수의 정보와 균형오차의 정보를 한 모형에 적용한 오차수정모형은 (16)과 같으며, 이 식은 불안정 시계열을 사용하는 문제점을 해결하면서, 장기적인 균형관계도 포함하게 된다.

$$\Delta Y_t = \beta_0 \Delta X_t - (1 - \alpha_1)(Y_{t-1} - \alpha - \gamma X_{t-1}) + \epsilon_t \quad (16)$$

오차수정모형을 이용할 경우 변수 간의 장기적인 균형 관계를 포함하여 분석할 수 있다는 장점이 있다. 단, 오차수정모형의 통계적 유의성을 확보해야만 사용할 수 있으며, 유의성을 확보하지 못할 경우 차분 변환된 계량경제모형을 이용해야 한다. 오차수정모형의 통계적 유의성은 (16)의 α_1 회귀계수의 유의성을 통해 검정할 수 있다.

항공수요 계량경제모형 개발 과정

기존 연구들에서는 시스템 다이내믹스, 시계열모형 등을 이용하여 항공수요 모형을 구축하였다. 이러한 항공수요 모형들은 수요예측에 있어 다양한 변수의 예측치 확보 어려움, 사회·경제 등의 외부적 상황을 감안한 수요예측 불가 등의 어려움이 존재한다. 항공수요 모형을 위한 다양한 방법론 중 이와 같은 문제점을 극복하고, 정밀한 분석이 가능한 항공수요 모형은 계량경제모형으로 판단된다.

계량경제모형을 이용한 기존 연구들에서는 시계열 자료의 특성을 감안하지 않거나, 일부만을 반영한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 일반적인 항공수요 계량경제모형을 개발할 때 적용 할 수 있는 과정(process)를 정립하였다.

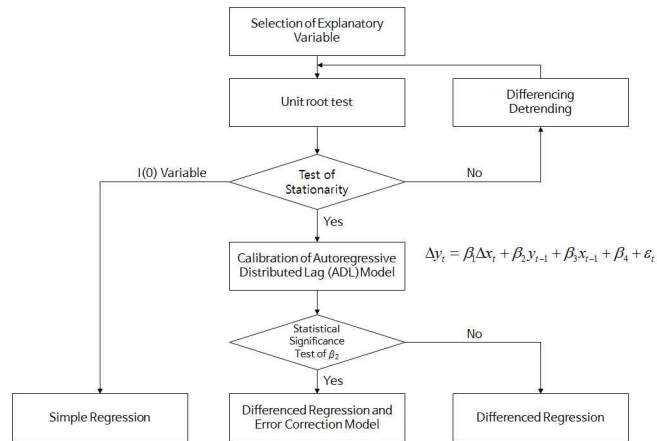


Figure 1. Process for air transportation demand econometric model

본 연구의 항공수요예측 프로세스는 Figure 1과 같으며, 설명변수 선택, 시계열 데이터 안정성 확인, 변수 간 장기균형관계 확인, 각 Case 별 적용 모형 결정으로 정리할 수 있다.

과거의 항공수요예측 프로세스와 다른 점은 시계열 데이터의 안정성을 확인하고 변수 간 장기균형관계를 확인하여 각각의 Case 별 계량경제모형을 적용하는 것이다. 이를 통해 시계열 자료의 안정성을 확보할 수 있으며, 허구적 회귀현상을 피할 수 있다.

기존 연구와 차이점은 각 변수(시계열 데이터)의 안정성과 변수간의 장기균형관계를 확인하여 각각의 경우에 따라 다른 모형을 적용하는 것이다. 이를 통해서 과거 연구에서 사용한 통계적 안정성을 점검하지 않았을

경우 발생할 수 있는 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 시계열 데이터의 성질과 변수 간 관계별 사용해야 하는 모형을 제시하여, 각 Case 별 적용 모형을 사용할 수 있도록 하였다.

항공수요 계량경제모형은 시계열 자료의 단위근 존재여부, 각 변수 간 장기균형관계의 존재유무에 따라 결정되게 된다. 단 한가지의 모형을 제시할 수 없으며, 각각의 경우에 대해서 다른 모형을 사용해야 한다. 즉, 본 연구에서는 한가지의 계량경제모형을 제시하는 것이 아니라 각 경우별 계량경제모형을 제시하고자 한다.

이를 구분하기 위해서는 첫번째로 설명변수의 시계열 특성을 검정해야 한다. 단위근 검정을 통해 시계열 변수가 I(0) 시계열, I(1) 시계열 또는 I(2) 시계열인지 구분하였다. 종속변수인 항공수요와 동일한 시계열 자료인지 확인해야 하며, 만약 같은 시계열이 아닐 경우 차분을 통해 같은 시계열 형태로 변환 후 사용해야 한다.

같은 시계열일 경우에는 단위근이 있는 경우와 아닌 경우로 구분된다. 만약 I(0) 시계열일 경우에는 안정적인 시계열 자료이므로 과거의 회귀분석을 실시하면 되지만 I(1) 또는 I(2) 시계열일 경우에는 공적분 검정을 거쳐야 최종적으로 모형을 선택할 수 있다. 장기적인 균형관계가 있을 경우에는 차분 + ECM(Error Correction Model)을 사용하여, 단기적인 변화뿐만 아니라 장기적인 추세도 모형에 반영해야 한다. 하지만 장기적 균형관계가 없을 경우에는 종속변수와 설명변수를 차분하여 회귀분석을 실시해야 한다.

장기적 균형 관계 검증을 위해서는 차분+ECM 모형을 정산한 계수들의 유의성을 통해 이용할 수 있다. (2)의 (t-1)년도의 Y값의 계수 α 가 0인지 t검정을 실시하여, 만약 0일 경우에는 공적분 관계가 없으므로 이 때 추정된 모형은 사용할 수 없게 된다.

$$\Delta Y_t = \alpha Y_{t-1} - \alpha \beta X_{t-1} + \rho \Delta X_t + \epsilon_t \quad (18)$$

본 연구에서는 시계열 자료의 특성에 따른 케이스별로 사용할 수 있는 모형을 제시하였다. 또한, 공적분 관계를 검증하는 방법을 단순화하여 적용에 용이하게 하였다.

제주공항 국내선 사례 분석

개발된 항공수요 계량경제모형의 적용 가능성을 검토하기 위해 제주공항 국내선 사례를 대상으로 분석하였다. 제주공항의 국제선 수요는 과거 실적이 미미하다가, 최근 중국수요 급증으로 최근 3년 간 연평균 50% 이상의 성장률을 보이고 있어 계량경제모형으로 현상을 설명하기에는 어려움이 존재한다. 반면, 제주공항 국내선은 우리나라 공항들 중 국내선 항공수요를 가장 많이 처리하고 있는 공항이며, 장기간의 실적 자료 확보가 용이한 점 등을 종합적으로 고려하여 본 연구의 사례로 선정하였다.

1. 설명변수 후보 선정

제주공항 국내선 여객수요를 종속변수로 두는 설명변수의 후보를 선정하였다. 제주공항 국내선 설명변수 후보는 수요의 직접적인 영향을 반영할 수 있는 대한민국 GDP, 1인당 GNI와 LCC 성장에 따른 항공수요 증가를 반영하는 국내선 항공요금지수와 제주 국내선 LCC 점유율, 마지막으로, 최근 중국 관광객의 여행패턴(중국-서울-제주-중국)을 반영할 수 있는 중국인 Inbound 관광객으로 선정하였다.

2. 단위근 검정 결과

ADF(Augmented Dickey-Fuller) 단위근 검정을 실시하여, 단위근의 유무를 통한 시계열 자료의 안정성을 판단하였다. 종속변수인 제주공항 국내선 수요의 단위근 검정 결과는 Table 1과 같으며, 원 데이터와 로그 데이터는 차분을 하지 않을 경우 단위근이 있으므로 나타났으며, 1차 차분 시 안정적인 시계열인 결과를 보였다. 이는 제주공항 국내선 수요 자료가 I(1) 시계열임을 의미한다.

동일한 방법으로 설명변수 후보들에 대해 단위근 검정을 실시하였다. 중국인 Inbound 관광객과 제주 국내 선 LCC 점유율의 원 데이터는 I(2) 시계열로 검정되었으며, 이외의 설명변수는 모두 I(1) 자료로 확인되었다.

Table 1. Unit root test result of demand of Jeju airport

	raw data		log transformed data	
	criteria	p-value	criteria	p-value
raw data	-3.00486	1.143755 (0.997)	-3.00486	-0.32894 (0.905)
1 st differenced data	-3.01236	-3.69912 (0.012)	-3.01236	-4.54491 (0.002)

note: the criteria used at 0.05 significance level

3. 설명변수 선택

본 연구에서는 설명변수 간 유사성, 범주의 특성을 감안하여 설명변수를 선택하였다. GDP와 1인당 GNI는 우리나라의 경제규모 및 상황을 반영하는 변수이며, 이 중 경제부문에서 주로 사용하는 지표인 GDP를 대표 변수로 결정하였다.

또한, 제주 방문 관광객 수는 제주공항 항공수요와 직접적인 연관을 가지고 있으므로, GDP와 함께 주 설명 변수로 설정하였다. 항공요금지수는 최근 LCC 성장 현상을 충분히 반영할 수 있는 부 설명변수로 판단하였다. 주 설명변수인 GDP, 제주 방문 관광객 수와 부 설명변수 요금을 조합하여 Table 2와 같은 회귀식 후보를 구성하였다.

Table 2. Explanatory variables

	Explanatory variables
Model ①	GDP, Price
Model ②	GDP
Model ③	Tourist
Model ④	Tourist, Price

4. 회귀모형 추정

본 연구에서는 다양한 설명변수 후보를 대상으로 공적분 관계 유무를 확인하기 위해 차분 변환된 자료를 이용한 ADL (Autoregressive Distributed Lag) 회귀모형과 차분 변환된 자료를 이용한 회귀모형을 추정하였다. 앞서 프로세스 개발 시 기술한 바와 같이 변수간의 장기적 균형관계를 추가로 고려할 수 있는 차분 변환된 자료를 이용한 ADL 회귀모형을 우선적으로 선정하는 것을 원칙으로 하였다. 회귀모형 추정의 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Result of regression

	Regression	Adj. R ²
Model ①	$\Delta PAX_t = 1.12 \Delta GDP_t - 0.59 \Delta PRC_t$	0.73
Model ②	$\Delta PAX_t = 1.25 \Delta GDP_t$	0.45
Model ③	$\Delta PAX_t = 0.63 \Delta TOU_t$	0.51
Model ④	$\Delta PAX_t = 0.48 \Delta TOU_t - 0.42 \Delta PRC_t$	0.59

GDP : GDP, PRC : Price index, TOU : Tourist

5. 최종 회귀모형 선정

Table 3의 회귀모형 추정 결과의 조정된 결정계수(Adj. R²)는 차분된 자료에 대한 설명력을 의미하며, 회귀 모형이 국내선 여객수요 실적을 모사하는 능력을 비교분석해야 한다. 이를 위해서 평균절대오차(MAE: Mean Absolute Error)와 평균절대비율오차(MAPE: Mean Absolute Percentage Error)를 분석하였다.

Table 4. The result of each model (MAE, MAPE)

	MAE	MAPE
Model ① (differenced reg.)	1,945,379	16.3%
Model ② (differenced reg.)	3,580,703	32.0%
Model ③ (differenced reg.)	1,687,924	13.5%
Model ④ (differenced reg.)	2,267,397	18.7%

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |A_t - F_t|$$

여기서, n : 자료의 개수
 A_t : t 년도의 실적값
 F_t : t 년도의 추정값

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

여기서, n : 자료의 개수
 A_t : t 년도의 실적값
 F_t : t 년도의 추정값

회귀모형 후보들의 통계적 검정값인 평균절대오차와 평균절대비율오차를 비롯한 실적치 대비 회귀식의 추정치 비교 도표, 장래 예측치의 획득 가능성 등을 종합적으로 검토한 결과 한국 GDP와 국내선 항공요금지수를 설명변수로 하는 차분변환 모형이 가장 적절한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 국내선 여객수요 예측을 위한 회귀모형으로 GDP와 국내선 항공요금지수를 설명변수로 하는 차분변환 모형을 최종 모형으로 선정하였으며, 최종 회귀모형의 회귀식 및 통계치는 다음과 같다.

$$\Delta PAX_t = 1.124 \Delta GDP_t - 0.592 \Delta PRC_t$$

(7.533/1.032) (-4.970/1.032)

여기서, PAX : 제주공항 국내선 여객수의 ln 변환값
 GDP : 대한민국 GDP (실질) ln 변환값
 PRC : 국내선 항공요금지수 ln 변환값
 Δ : 1차 차분 변환된 자료를 의미함.

Figure 2에 따르면 최종 계량경제모형이 제주공항 국내선 여객 실적을 전반적으로 설명하고 있다. 다만 1998년 IMF 금융위기에 따른 수요침체 현상을 모형에서는 충분히 설명하지 못하였다. 이에 따른 누적 현상으로 2000-2013년의 모형은 실적치보다 다소 높게 추정되고 있다. 이는 항공수요에 영향을 미치는 사회적, 문화적 이벤트들이 모형에 포함되지 못해 발생하는 차이로 판단된다.

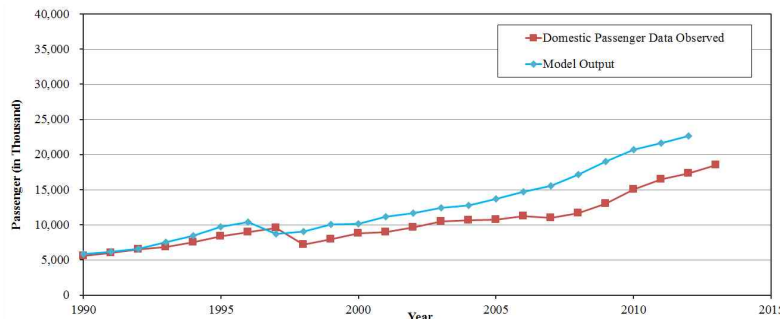


Figure 2. Observed data vs. model output

결론 및 향후 연구과제

기존 항공수요예측 모형은 시계열 데이터의 안정성을 고려하지 않았다는 문제점이 있었다. 즉, 기존 모형들의 통계적 설명력이 높게 나온 것은 허구적 회귀(spurious regression) 현상에 의한 결과로 볼 수 있다. 본 연

구에서는 이를 해결하기 위해서 시계열 데이터의 안정성을 고려한 항공수요예측 계량경제모형을 개발하였다.

단위근 검정과 공적분 검정을 통해서 각 경우를 구분하였고, 이에 따라 사용할 수 있는 모형을 제시하였다.

즉, 요약하면 I(0) 시계열 간에는 기존의 회귀분석을 사용할 수 있고, I(1) 시계열 간에 공적분 관계가 없을 경우 차분모형, 공적분 관계가 있을 경우에는 차분 + ECM 모형을 적용한다.

제주공항 국내선 항공수요를 본 항공수요예측 모형 프로세스에 대입한 결과 GDP와 요금 변수를 함께 사용한 차분모형의 설명력이 높게 나타났다.

본 연구에서 개발한 통계적 안정성을 고려한 항공수요 계량경제모형이 과거 항공수요예측 시 사용했던 모형의 문제점을 해결하였고, 실제 우리나라 공항에 적용이 가능한 것을 제주공항 국내선 사례를 통해 검토하였다.

향후 타 공항의 항공수요에 본 연구의 프로세스를 적용할 경우 보다 다양한 경우가 발생할 수 있을 것으로 예상되며, 본 연구에서 제시한 프로세스만으로 항공수요모형을 개발하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 이러한 경우에는 ARIMA 모형 등 계량경제 모형이 아닌 시계열 모형을 개발하거나, 국가 또는 지역의 전체 수요를 예측한 후 각 공항의 수요를 예측하는 Top-down 방식을 통해 모형 개발이 가능할 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT, Korean Government) (20130829236-01).

REFERENCES

- Air Transport Statistics, Korea Airport Cooperation.
- Air Transport Statistics, Korea Civil Aviation Development Association.
- Andreoni A., Postorino M.N. (2006), A Multivariate ARIMA Model to Forecast Air Transport Demand, European Transport Conference, Association for European Transport.
- Baik S. H., Kim S. S. (2008), Estimation of Air Travel Demand Models and Elasticities for Jeju-Mainland Domestic Routes, *J. Korean Soc. Transp.*, 26(1), Korean Society of Transportation, 51-63.
- Cho S. I., Choi J. S. (2005), A Monte Carlo Experiment on the Power of Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test, *Statistics Study*, 10, 165-188.
- Economics Statistics System, Bank of Korea.
- Enders W. (2010), *Applied Econometric Time Series*, 181-199, 401-413.
- Hendry D.F., Juselius K. (2000), Explaining Cointegration Analysis : Part 1, *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, 0(1), 1-42.
- Hendry D.F., Juselius K. (2001), Explaining Cointegration Analysis : Part II, *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, 0(1), 75-120.
- Hur N. K., Jung J. Y., Kim S. (2009), A Study on Air Demand Forecasting Using Multivariate Time Series Models, *Applied Statistics Study*, 22, 1009-1017.
- Jeju Development Institute (2008), *Airfare Reduction Plan of Jeju Route*.
- Johnston J., Dinardo J. (1997), *Econometric Methods*, 57-64.
- Kim B. J., Lee M. H. (2008), A Study on the Future Air Traffic Demand in Busan Metropolitan Area, *Journal of the*

- Korean Society for Aviation and Aeronautics, 16, 46-57.
- Kim M. J., Jang G. H. (2002), *Financial Time Series Analysis*(2nd), 413-429.
- Korea Transport Institute (2012), *Air Transportation Demand Forecasting and Analysis*.
- Lee Y. H., Ryu M. Y., Choi S. H. (2009), A Study on Forecasting Air Transport Demand Between South and North Korea, *J. Korean Soc. Transp.*, 27(2), Korean Society of Transportation, 83-91.
- Ministry of Land (2010), *Infrastructure and Transport*, General Plan for Mid and Long-term Airport Development(4th).
- Ministry of Land (2014), *Infrastructure and Transport*, Jeju Air Transportation Demand Investigation.
- Park E. K., Lee K. Y., Lee C. K. (2011), Analysis of The Relationships Between Major Economic Variables and Tourism Demand Using VECM: Case of Japanese Inbound Tourists, *Tourism and Leisure Study*, 56, 45-64.
- Suryani E., Chou S., Chen C. (2010), Air Passenger Demand Forecasting and Passenger Terminal Capacity Expansion: A System Dynamics Framework, *Expert Systems With Applications* 37, 2324-2339.
- Tourism knowledge information system, Korea Tourism Organization.
- UK Department for Transport (2011), *UK Aviation Forecasts*.