

# 부트스트랩 재표본 방법을 이용한 여객기 초기 사이징 통계 분석

진원진

인하공업전문대학 항공기계공학과

## Statistical Analysis for Initial Sizing of Jet Airliner using Bootstrap Re-sampling Method

Wonjin Jin

Department of Aeronautical & Mechanical Engineering, Inha Technical College

**요약** 본 논문에서는 개념설계 단계에서 현대 제트 여객기(jet airliner)의 초기 사이징(initial sizing)에 요구되는 설계 변수를 통계적 방법으로 예측하는 절차를 제시하였다. 제트 여객기는 좌석수(seating capacity)와 좌석배치에 따른 여객기의 체급을 기준으로 광동체(wide-body), 협동체(narrow-body), 그리고 리저널(regional) 여객기로 분류한다. 대학의 항공기 개념설계(aircraft conceptual design) 수업에서 활용하는 제트 여객기의 초기 사이징을 위한 기존의 회귀 방정식(regression equation)은 제한된 수의 제트 여객기 데이터를 사용하였다. 하지만 검정력과 유의성이 높은 회귀 분석의 결과를 도출하기 위해서는 통계 표본 크기(sample size)가 충분하고 적절해야 하는데, 통계 예측의 정확도 향상을 위하여 제트 여객기를 체급별로 분류하여 따로 회귀분석을 진행하면 표본 크기, 즉 표본의 수는 더욱 감소한다. 그러므로 본 논문은 재표본(re-sampling)을 통하여 표본 크기를 증가시키는 부트스트랩(bootstrap) 방법을 활용하였다. 부트스트랩 재표본 방법을 활용하면 표본의 수가 충분하지 않은 경우에도 표준정규분포(standard normal distribution)를 만족시키는 통계적 표본 크기를 확보하여 신뢰구간(confidence interval)을 개선할 수 있다. 이에 따라 증가된 표본의 수를 기반으로 좌석수(seating capacity) 및 최대항속거리(range) 등의 성능요구조건에 부합하는 초기 사이징 설계 변수인 최대이륙중량(maximum takeoff weight)을 예측 가능한 체급별 선형 회귀 방정식을 도출하고 검증하였다.

**Abstract** In this study, design parameters were predicted for the initial sizing of modern jet airliners by using statistical analysis. Jet airliners are usually categorized as wide-body, narrow-body, and regional airliners according to their size, seating capacity, and seating arrangement. The reliability of a regression analysis (significance and statistical power) can be increased by using a sufficient and appropriate sample size. However, the currently available regression equations from conceptual design classes of airplanes are based on a limited number of airliner sample data. Moreover, the sample sizes are further decreased if regression analyses are performed for wide-body, narrow-body, and regional jet airliners. Therefore, a bootstrap resampling method was utilized to substantially increase the sample size and improve the confidence level of the statistical analysis. Based on the increased sample size, regression equations were derived to predict the design parameters of jet airliners and validated.

**Keywords** : Aircraft Conceptual Design, Aircraft Initial Sizing, Bootstrap, Re-sampling, Jet Airliner, Regression Analysis

---

\*Corresponding Author : Wonjin Jin(Inha Technical College)

email: [jwonjin@inhac.ac.kr](mailto:jwonjin@inhac.ac.kr)

Received August 16, 2023

Accepted October 6, 2023

Revised October 4, 2023

Published October 31, 2023

## 1. 서론

운용요구조건에 부합하는 성능을 발휘하도록 항공기의 중량을 결정하고, 항공기 기체(airframe)의 기본 형상을 정의하며, 추진장치(propulsion system) 등을 선정하는 작업을 항공기개념설계(aircraft conceptual design)라고 한다[1]. 그리고 항공기 개념설계 수업은 설계요구도(design requirement)를 분석하고, 기체와 추진장치를 포함하는 항공기 설계 절차를 이해하며, 항공역학과 비행성능 관련 항공 이론지식을 함양할 수 있으므로 항공공학과 뿐만 아니라 항공정비학과의 교육과정에도 개설되고 있다.

항공기의 크기 및 중량, 그리고 추력은 익면하중(wing loading)과 추력대중량비(thrust to weight ratio)라는 설계변수로 정의된다[2]. 개념설계 단계에서 항공기의 크기 및 중량, 즉 항공기 사이징(sizing)을 가능한 현실적으로 추정한다면 절충연구(trade study와 설계반복(design iteration)[3]의 수고를 줄일 수 있다. 항공기 형상과 성능 데이터베이스를 구축한 후, 이를 기반으로 통계적 방법을 통하여 도출된 회귀 방정식(regression equation)과 추세선 또는 회귀선(regression line)을 사용하여 항공기 초기 사이징을 위한 설계변수를 추정할 수 있다[4,5].

그런데 기존의 항공기 개념설계 문헌[2,6,7]에서 제공하는 항공기의 초기 사이징을 위한 회귀 방정식은 1990년대 이전에 등장한 항공기의 데이터에 기반하고 있고, 경험식에 사용된 기종의 수, 즉 데이터 표본 크기(sample size) 역시 제한적이었다. 예를 들면 개념설계에 빈번히 활용되는 Roskam[7]의 회귀 방정식은 Boeing 727-200 및 A310-202 등과 같이 70~80년대에 취항한 총 21기종을 표본으로 하여 도출되었기 때문에 표본 데이터의 최신화와 표본의 수를 증가시킬 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 항공기개념설계 수업에서 학생들이 활용할 수 있도록 1990년대 이후 최근까지 개발된 제트 여객기의 형상 및 성능 데이터를 추가하였다. 그리고 이를 기반으로 부트스트랩 재표본(bootstrap re-sampling) 방법을 이용하여 표본 크기를 대폭 증가시켜 통계적으로도 더욱 유의미한 여객기 초기 사이징용 회귀 방정식을 도출하였다.

## 2. 분석 방법

### 2.1 제트 여객기 체급별 분류

본 논문에서 사용된 제트 여객기는 총 109기종으로써, 1965년에 등장한 좌석수 90석의 DC-9-10부터 2020년에 처음 비행한 좌석수 414석의 Boeing 777-9까지 개발연도와 크기가 다양하다. Table 1과 같이, 일반적으로 제트 여객기는 체급을 기준으로 3가지로 구분한다. 광동체(wide-body) 여객기는 객실(cabin)의 통로가 2개로써(twin-aisle) 좌석수가 250개 이상인 중대형 여객기이다. 협동체(narrow-body) 여객기는 객실 통로가 하나(single-aisle)이고 좌석수는 약 100~250개이다. 또한, 좌석수 100명 이하의 소형 여객기는 리저널(regional) 여객기로 분류한다. 총 109기종의 여객기 최대이륙중량(maximum takeoff weight,  $W_0$ ), 그리고 좌석수(seat capacity)와 최대항속거리(range) 등의 설계변수 및 성능변수에 대한 정보는 참고문헌[8,9]의 여객기 제원 자료에서 발췌하였다.

Table 1. List of jet airliners used for analysis  
(a) Wide-body (total 39 airliners)

A300-600R	A340-500	B747-8	B777-300	DC-10-30
A310-300	A340-600	B767-200	B777-300ER	L-1011-100
A330-200	A350-900	B767-200ER	B777-8	IL-62M
A330-300	A350-1000	B767-300	B777-9	IL-86
A330-800	A380-800	B767-300ER	B787-8	IL-96-300
A330-900	B747-100	B777-200	B787-9	IL-96M
A340-200	B747-200	B777-200ER	B787-10	MD-11
A340-300	B747-400	B777-200LR	DC-10-10	

(b) Narrow-body (total 54 airliners)

ARJ-900	B727-200	B737-9	E-JET-E190	RJ-115
A220-100	B737-200	B737-10	E-JET-E195	SSJ-100
A220-300	B737-300	B757-200	F-100	Tu-154M
A319-100	B737-400	B757-300	MC-21-200	Tu-204-100
A319-NEO	B737-500	CRJ-1000	MC-21-300	Tu-204-120
A320-200	B737-600	C919	MD-81	Tu-204-200
A320-NEO	B737-700	DC-8-63	MD-82	Tu-204-300
A321-200	B737-800	DC-8-73	MD-83	Tu-204-SM
A321-NEO	B737-900	DC-9-30	MD-87	Tu-214
B707-320	B737-7	DC-9-40	MD-90-30	Tu-334
B717-200	B737-8	DC-9-50	RJ-85	

(c) Regional (total 16 airliners)

ARJ-700	CRJ-900	EMB-145	F-70
CRJ-100	DC-9-10	ERJ-135	RJ-70
CRJ-200	E-JET-E170	ERJ-140	RJ-100
CRJ-700	E-JET-E175	ERJ-145	Tu-134

### 2.2 회귀분석과 재표본 방법

회귀분석(regression analysis)이란 독립변수(independent variable)와 종속변수(dependent variable) 간의 관계를 규명하는 회귀 방정식을 도출하여 종속변수에 대한 독립 변수의 영향력을 분석하거나, 독립변수의 값으로

종속변수의 값을 예측하는 통계적 분석 방법이다[10].

회귀분석에서 데이터 표본의 수가 증가할수록 유의 확률( $p$ -value)이 감소하고, 유의수준 (significance level,  $\alpha$ )이 높아져서 검정력(statistical power)이 증가한다. 분석결과와 통계적 유의성(significance) 역시 표본의 수가 증가할수록 더욱 유의해지므로 회귀분석 결과의 예측도가 증가한다[10].

통계학에서 재표본 방법은 기존의 표본 모집단에서 표본을 무작위로 추출하여 새로운 표본을 생성하는 방법이다. 대표적인 재표본 방법에는 부트스트랩 방법과 순열 검정법(permutation test)이 있다. 두 가지 재표본 방법의 특징 및 장단점은 아래와 같다[11].

부트스트랩은 신뢰구간(confidence interval)을 확인하기 위하여 사용하는 재표본 방법이지만, 순열 검정법은 귀무가설(null hypothesis)을 시험하는 방법이다. 또한, 부트스트랩은 표본의 복원 추출이 가능하므로 이를 통하여 수천 개의 시뮬레이션 표본을 생성할 수 있고, 더 정확한 신뢰구간을 확보하여 유의수준과 검정력을 높인다. 하지만, 순열 검정법은 비복원 추출 대신 표본의 재배열과 재그룹화를 통하여 재표본을 진행하므로 표본의 수를 증가시킬 수 없다. 이러한 특징 때문에 부트스트랩 방법은 다양한 학문 분야에서 통계적 분석방법으로 활용되고 있다[12-14].

제트 여객기의 기본 형상이 정립된 1960년대 이후에 등장한 기종의 수는 총 109에 불과하므로 본 논문에서는 표본 크기 증가를 통한 통계적 분석 결과의 유의성 향상을 위하여 부트스트랩 재표본 방법을 활용하였다.

## 2.3 부트스트랩 방법

Efron[15]에 의하여 처음 고안된 부트스트랩 방법은 주어진 표본에서 일정 수의 표본을 추출하여 평균을 구하는 작업을  $n$ 번 반복하여  $n$ 까지 표본의 수를 늘린다. 임의의 확률분포  $F$ 로부터 임의의 표본  $x=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 을 추출했을 때 이에 대한 통계량을 다음과 같이 나타낸다.

$$R_n(x, F) \quad (1)$$

위의 통계량의 누적분포함수를 아래와 같이 표현할 수 있다[16].

$$J_n(t, F) = P_F[R_n(x, F) \leq t] \quad (2)$$

일반적으로  $R_n(x, F)$ 의 표본분포인  $J_n(t, F)$ 을 추정하여 확률분포  $F$ 에 대한 통계적 추론을 진행한다. 그런데, 임의의 표본인  $x=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 의 확률분포

$F$  대신  $\hat{F}$ 으로 추정한다고 가정하면 부트스트랩 방법은  $R_n(x, F)$ 의 실제 표본분포인  $J_n(t, F)$ 의 추정값으로  $J_n(t, \hat{F})$ 를 사용한다. 여기서  $J_n(t, \hat{F})$ 는  $F$ 를 그의 추정량  $\hat{F}$ 로 대치한 함수적 추정치이다.

$$J_n(t, \hat{F}) = P_{\hat{F}}[R_n(x^*, \hat{F}) \leq t] \quad (3)$$

이는  $\hat{F}$ 에서 부트스트랩을 통하여 재표본  $x^*=(x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*)$ 을 얻고, 이에 대한 통계량인  $R_n(x^*, \hat{F})$ 의 표본분포를  $J_n(t, \hat{F})$ 이라고 취급하는 것과 같다. 그리고 조건부 확률변수인 부트스트랩의 표본  $x^*=(x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*)$ 에 의한 조건부 통계량인  $R_n(x^*, \hat{F})$ 이 표본  $x=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 에 근거한 원래의 통계량  $R_n(x, F)$ 의 성질 또는 분포형태와 충분히 유사해질 때까지 재표본을 통하여 표본 크기를  $n$ 까지 증가시킨다. 그리고 부트스트랩 분포를 기준으로 하여 원래의 표본분포를 추정한다. 따라서 이 방법을 활용하면 10개 전후의 매우 작은 표본의 수를 가지고도 표준정규분포를 형성시키기 충분한 통계적 표본 크기를 확보하여 신뢰구간을 개선할 수 있다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1 성능요구조건과 최대이륙중량 회귀분석

여객기의 초기 사이징을 위한 중량, 익면하중, 추력대 중량비 등의 설계변수는 좌석수와 최대항속거리 등의 성능요구조건[6]을 충족하도록 결정된다. 따라서 좌석수(Seat)와 최대항속거리( $R$ )의 곱( $SR$ )을 독립변수로 하고, 중량( $W_0$ )을 종속변수로 하여 체급, 즉 중량에 대한 구분이 없이 회귀분석을 수행하였고, 도출된 비선형 회귀 방정식(지수함수 회귀 방정식)과 회귀분석 추세선은 Fig. 1에 제시되어 있다[17]. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 좌석수(Seat)와 최대항속거리( $R$ )의 값이 크고 중량( $W_0$ )이 무거울수록 분산이 두드러지기 때문에 도출된 회귀 방정식은 비교적 소형 여객기의 중량 추정에 예측 정확도가 높은 반면, 중대형 여객기에 대해서는 낮아질 수 있다고 판단된다.

### 3.2 부트스트랩 재표본 결과

본 논문에서는 체급별로 신뢰성이 높은 회귀 방정식을

도출하기 위하여 여객기를 광동체(wide-body), 협동체(narrow-body), 리저널(regional) 등 체급별로 나누어 좌석수와 최대항속거리의 곱( $SR$ )에 대한 중량( $W_0$ ) 예측을 위한 회귀분석을 진행하였고, 그 결과는 Fig. 2에 제시되었다.

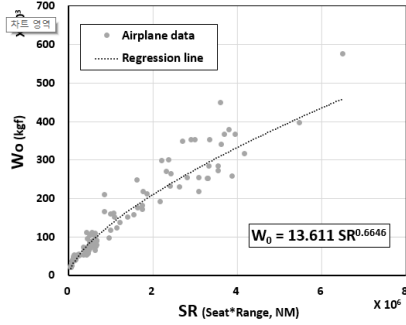


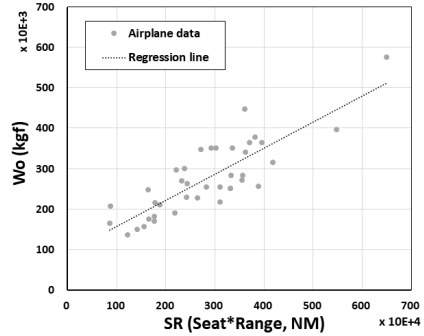
Fig. 1. Results of regression analysis (seat × range vs  $W_0$ )[17]

그런데 분석에 사용된 여객기를 3종류로 분류하면 표본 크기는 각각 39, 54, 16기종으로 구분되고, 종류별로 감소한 표본의 수 때문에 회귀분석의 검정력과 유의성이 낮아질 수 있다. 그러므로 부트스트랩 재표본 방법을 통하여 광동체, 협동체, 리저널 여객기에 대한 각각의 표본 크기를 적절하고 충분한 수준으로 인위적으로 증가시켜 체급별로 예측 정확도가 향상된 회귀 방정식을 도출하였다.

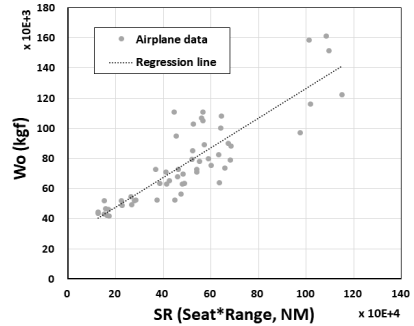
부트스트랩 재표본은 R package(R-4.3.1)[18]를 활용하여 진행되었다. 체급별 3종류의 여객기에 대한 재표본의 수는 각각 5,000개로 설정하였으며 결과값에 대한 히스토그램(histogram, 좌측)과 정규확률그림(normal probability plot, 우측)이 Fig. 3에 나타나 있다. 그림에서  $t^*$ 는 독립변수, 즉 좌석수와 최대항속거리의 곱( $SR$ )을 나타낸다. 광동체, 협동체, 리저널 여객기의 원래 표본의 수가 적고, 모집단의 값은 비교적 불규칙하여 표준정규분포를 따르지 않았다. 하지만 그림에서 볼 수 있듯이 5,000개의 부트스트랩 재표본에 의한 모집단은 표준정규분포를 따르고 있고, 이는 선형에 가까운 정규확률그림에서도 확인할 수 있다. 아울러 모집단의 실제 평균값이 신뢰구간에 포함될 확률을 나타내는 신뢰수준(confidence level)은 모두 95%이다.

Table 2는 여객기의 체급별 좌석수와 최대항속거리의 곱( $SR$ )에 대한 중량( $W_0$ ) 추정을 위하여 부트스트랩 재표본을 통해 각각 도출된 선형 회귀 방정식(linear regression

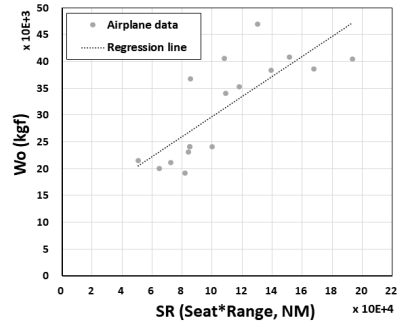
equation)의 회귀 지수(regression coefficient) 값을 제시하고 있다.



(a) Wide-body (total 39 airliners)



(b) Narrow-body (total 54 airliners)



(c) Regional (total 16 airliners)

Fig. 2. Results of regression analyses for airliner type

### 3.3 부트스트랩 재표본 결과의 검증

부트스트랩 재표본 방법으로 도출된 선형 회귀 방정식의 검증을 위하여 여객기의 설계변수를 예측해 보았다. Table 3~5는 비교적 최근에 취역한 체급별 여객기 9기종의 중량( $W_0$ )을 추정하여 실제 값과 비교한 것이다.

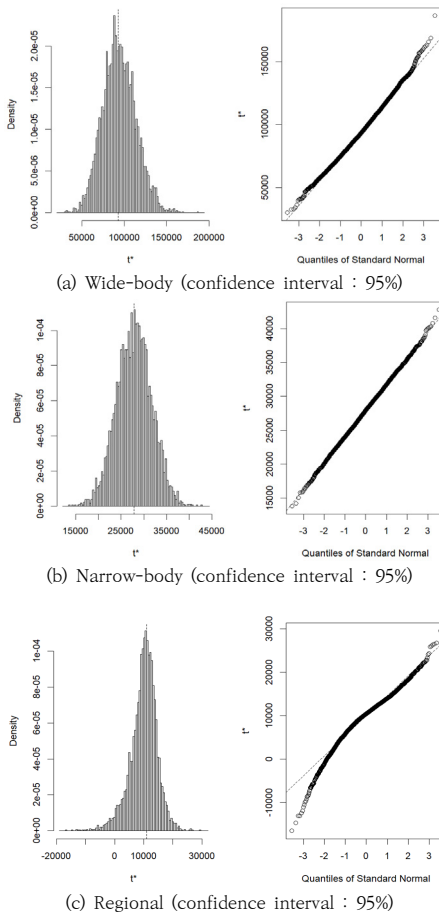


Fig. 3. Normal standard distributions(left) and normal probability plots(right) from bootstrap re-sampling (sample size : 5,000)

Table 2. Regression coefficients (bootstrap re-sampling)

Linear regression Eq. :  $W_0 = aSR + b$

Airliner type	$a$	$b$
Wide-body	0.0644	93,307
Narrow-body	0.0986	27,936
Regional	0.1896	10,414

여기서 언급된 비선형 회귀 방정식(non-linear regression equation)은 Fig. 1에 제시된 바와 같이 체급의 구분이 없는 전체 표본으로부터 도출되었다. 기종에 따라 다르지만, 결과에서 볼 수 있듯이 전반적으로 중량이 클수록 실제 값과 회귀분석 추정 값의 차이가 비교적 크게 나타나고 있다. 예를 들면 광동체 여객기인 B747-8의 최대이륙중량 실제값과 비선형 회귀 방정식

예측값의 차이는 137,542kgf이고, 협동체 여객기인 A320-neo의 차이는 23,621kgf이며, 리저널 여객기인 CRJ-100의 차이는 2,605kgf인데, 이러한 경향은 Fig. 1에 제시된 항공기 데이터의 분산도에서도 확인할 수 있다. 그리고 체급별로 분류하고, 부트스트랩 대표본을 통하여 도출된 회귀 방정식들은 기존의 비선형 회귀 방정식과 비교하여 전반적으로 실제 중량을 더욱 근접하게 추정하고 있음을 볼 수 있다. 즉, B747-8의 실제값과 부트스트랩 예측값의 차이는 122,215kgf이고, A320-neo의 차이는 16,231kgf이며, CRJ-100의 차이는 1,467kgf이다.

Table 3. Estimation of  $W_0$  (wide-body)

Airliner (intro. year)	Seat [-]	Range [NM]	$W_0$ [kgf]		
			Actual	Non-linear	Bootstrap
A380-100 (2005)	850	7,650	575,000	459,053	512,068
B747-8 (2010)	467	7,730	448,000	310,458	325,785
B777-8 (2021)	384	8,730	351,500	295,553	309,196

Table 4. Estimation of  $W_0$  (narrow-body)

Airliner (intro. year)	Seat [-]	Range [NM]	$W_0$ [kgf]		
			Actual	Non-linear	Bootstrap
A220-100 (2013)	120	3,450	63,100	73,612	68,756
A320-neo (2014)	195	3,500	79,000	102,621	95,231
B737-Max8 (2016)	178	3,550	82,600	97,500	90,241

Table 5. Estimation of  $W_0$  (regional)

Airliner (intro. year)	Seat [-]	Range [NM]	$W_0$ [kgf]		
			Actual	Non-linear	Bootstrap
ARJ21-700 (2008)	90	1,200	40,500	30,137	30,891
CRJ-900 (2001)	90	1,550	38,330	35,725	36,863
E170 (2002)	78	2,150	38,600	40,375	42,210

#### 4. 결론

본 논문에서는 현대 제트 여객기의 초기 사이징 단계에서 요구되는 설계변수를 통계 분석으로 추정하는 방법을 제시하는 과정에서 다음의 결과를 도출하였다.

1. 기존의 개념설계 참고도서에서 소개된 통계 경험식은 제한된 수의 과거 여객기 데이터에 기반하고 있으므로, 회귀 방정식의 예측 정확도를 높이기 위하여 기존의 항공기 중량과 성능 데이터를 최신화 하고 다양화하였다.
  2. 회귀 방정식의 적합성 향상을 위하여 제트 여객기를 광동체, 협동체, 리저널 등 체급별로 분류하고 통계 분석을 진행하였다.
  3. 통계기법 중 하나인 부트스트랩 대표본 방법을 활용하여 표본의 수를 인위적으로 증가시킴으로써 통계분석 결과의 검정력과 유의성을 향상시켰다.
  4. 좌석수 및 최대항속거리 등의 성능요구조건에 부합하는 여객기 초기 사이징 설계변수인 중량을 예측할 수 있는 회귀 방정식을 도출하고 검증하였다.
- 따라서 초기 사이징 단계에서 제트 여객기 형상에 대한 절충연구와 설계반복 과정을 최소화하기 위한 현실적인 기준 형상(baseline configuration)을 정의하는데 본 논문에서 도출된 회귀 방정식을 활용할 수 있을 것으로 기대한다. 아울러, 항공기의 설계변수와 성능변수는 매우 다양하게 세분되어 있고, 이들 변수 간의 관계를 상세하고 체계적으로 분석 및 정리한다면 항공기 개념설계 교육의 효과성도 증가할 것이다. 그러므로 구조방정식 모델(Structural Equation Model, SEM)과 같이 독립변수뿐만 아니라 잠재변수(latent variable) 사이의 영향관계까지도 다루는 통계기법을 개념설계 절차에 적용하여 항공기 설계변수와 성능변수의 관계를 더욱 면밀하게 규명하는 추가적인 분석을 진행할 예정이다.

## References

- [1] Aircraft Design Education Research Society, "Aircraft Conceptual Design," Kyungmoon Inc., 2010.
- [2] D. P. Raymer, "Aircraft Design: A Conceptual Approach, 6th edition," American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 2018.
- [3] L. R. Jenkinson, P. Simpkin, and D. Rhodes, "Civil Jet Aircraft Design," American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 1999.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2514/4.473500>
- [4] K. Kim, *et al.*, "Study for Derivation Design Parameters of Small & Regional Aircraft using the Regression Analysis," *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, KSAS 08-1208, pp.180-183, 2008.
- [5] C. Hwang, and S. Kim, "Analysis and Trend Curve Derivation of Major Design Parameters of Unmanned and Manned Rotorcrafts," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 34, No. 2, pp. 26-35, 2006.
- [6] E. Torenbeek, "Synthesis of Subsonic Airplane Design: An Introduction to the Preliminary Design of Subsonic General Aviation and Transport Aircraft, with Emphasis on Layout, Aerodynamic Design, Propulsion and Performance," Delft University Press, 1982.
- [7] J. Roskam, "Airplane Design Part I : Preliminary Sizing of Airplanes," DARcorp., Kansas, USA, 1997.
- [8] "Civil Aircraft Design : Data sets," accessed Aug. 11, 2022,  
<https://booksite.elsevier.com/9780340741528/appendices/data-a/default.htm>
- [9] P. Jackson, K. Munson, and L. Peacock, "Jane's All the World's Aircraft 2008-2009," Janes Information Group, 2008.
- [10] W. Navidi, "Principles of Statistics for Engineers and Scientists, 2nd edition," McGraw-Hill Edu. New York, USA, 2020.
- [11] J. L. Rasmussen, "Computer-intensive correlational analysis: Bootstrap and approximate randomization techniques," *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, Vol. 42(1), pp. 103-111, 1989.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1989.tb01118.x>
- [12] Y. Jeon, *et al.*, "A Bootatrap Method for Statistical Analysis of Vibration Spectrum," *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, KSAS 08-3116, pp. 351-354, 2008.
- [13] H. Kim, and T. Lee, "Significance Analysis of Input Variables Using Bootstrap Method for Elastic Net under Sampling Uncertainty", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A*, Vol. 45, No. 2, pp. 141-148, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2021.45.2.141>
- [14] Y. Kim, *et al.*, "Anomaly Detection of Air Dryer for Radar based on Machine Learning Algorithms." *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 24, No. 3, pp. 1-12, 2023.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.3>
- [15] B. Efron and R. Tibshirani, "An Introduction to the bootstrap," Chapman & Hall/CRC, New York, 1994.  
DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429246593>
- [16] C. Kang, "Teaching of the Bootstrap Method using MS Excel," *Journal of The Korean Data Analysis Society*, Vol. 9, No. 4, pp. 1875-1884, 2007.
- [17] W. Jin, "A Statistical Analysis for Initial Sizing of Jet Airliners," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 23, No. 12, pp. 749-754, 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.12.749>
- [18] R package ver. 4.3.1. [computer software], 2023.  
<https://cran.r-project.org/src/base/R-4/>

진 원 진(Wonjin Jin)

[정회원]



- 2009년 5월 : University of Kansas 항공우주공학과 공학박사
- 2010년 6월 : 한국항공우주연구원
- 2012년 3월 : 대한항공 항공기술연구원
- 2013년 3월 : 극동대학교 항공정비학과 조교수

• 2017년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 항공기계공학과 부교수

<관심분야>

항공기 공력 및 성능 해석