

회귀모형을 이용한 군 항공화물수요 예측에 관한 연구

(A Study on Estimating of Air Freight Demand using Regression Model)

† 서 세 경(Se-Kyung Seo)*, 정 병 호(Byung-Ho Jung)**, 김 익 기(Ikki Kim)***

초 록

현재 공군은 중앙창에서 국내 조달물자와 해외 도입물자를 공급받아 보관하고 전국 각 기지로 수송하여 기지별로 필요한 물자를 공급하고 있다. 이러한 물자를 중앙물자라고 부르며 항공, 철도, 육로 등 다양한 방안을 이용하여 수송한다. 이 중 항공이 차지하는 비중은 전체 물자의 10% 정도이며, 그 물량이 날로 증가하고 있다. 이렇듯 군에서 항공수송의 비중이 점점 커져가고 있지만, 항공수송을 활성화시키기 위한 수요예측이나 노선설계와 같은 연구는 매우 미흡한 실정이다. 본 연구는 회귀분석을 통하여 항공수송에 미치는 주요 요인과 영향력을 검증하였고 산출된 회귀모형식은 군 항공화물수요 예측에 있어 유용한 자료가 될 것이다.

ABSTRACT

Central supply depot of Air Force has been receiving and storing the goods from the inside and outside of the country. And it also has been distributing the goods to the air base by air, rail, road, etc. These goods have been called central goods. Among these central goods, 10% of them are transported by air and the amount of freight is increasing day by day. So, air transportation in the Air Force has been more important than ever. But, studies of demand estimation for activating air transportation are very difficult. This study verified the main factors affecting to air transportation and the function of regression model will be useful data for estimating air freight demand.

Keywords : Air Freight Demand, Central goods, Scheduled Airlift

논문접수일 : 2009년 11월 2일 논문게재확정일 : 2009년 12월 18일

* 한양대학교 대학원 교통공학과 석사과정 / 공군 대위

** 한양대학교 대학원 교통공학과 박사과정 / 공군 소령

*** 한양대학교 공학대학 교통공학과 교수

† 교신저자

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라 항공운송산업은 1990년대 말 세계 10위권에 진입할 정도로 급속히 발전하여 왔다. 특히 화물운송 부분에서는 대한항공이 최근 몇 년 동안 세계 1위 자리를 고수하고 있으며, 인천국제 공항은 개항 이후 전 세계 공항 중에서 5위권 안에 드는 화물처리실적을 자랑하고 있다. 이러한 흐름과 맞물려 군에서도 항공수송은 그 중요성이 날로 더해가고 있으며, 가장 비근한 예로 우리 군은 월남전부터 걸프전, 대테러전과 최근의 이라크 자유 작전까지 수송기를 이용한 항공수송을 통해 전 세계 자유수호에 이바지 하고 있다(정병호·김익기, 2008).

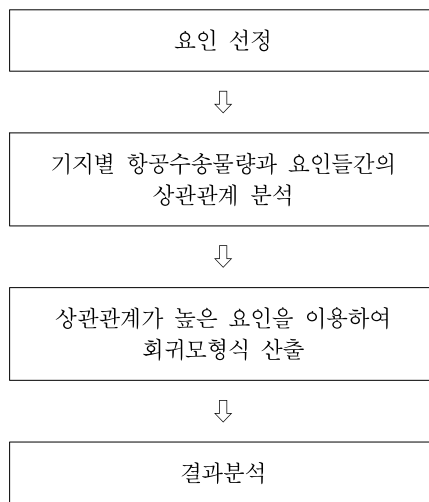
현재 공군은 중앙창에서 국내 조달물자와 해외 도입물자를 공급받아 보관하고 전국 각 기지로 수송하여 기지별로 필요한 물자를 공급하고 있다(정병호·김익기, 2009). 이러한 물자를 중앙물자라고 부르며 항공, 철도, 육로 등의 방편을 이용하여 수송한다. 중앙물자수송 중 항공이 차지하는 비중은 전체 물자의 10% 정도이며, 그 물량이 날로 증가하고 있다. 이렇듯 군에서 항공수송의 비중이 점점 커져가고 있지만, 항공수송을 활성화시키기 위한 수요예측이나 노선설계와 같은 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구는 평시에 화물수송이 주요 임무인 항공수송에 대해서 항공화물수요에 따른 적절한 항공노선 배정으로 평시 항공수송 업무에 도움을 주고자 하였다. 이러한 이유로 본 연구는 통계적 기법인 상관분석 및 회귀분석을 통하여 항공수송에 미치는 주요 요인과 영향력을 검증하였으며, 다양한 모형식 간의 비교 분석을 통해 산출된 회귀 모형식은 기지별 항공화물수요 예측에 있어 유용한 자료가 될 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

연구는 <그림 1>에서와 같이 먼저 요인을 선정하고, 각 기지로 수송되는 항공수송물량과 이에 영향을 미치는 주요 요인과의 상관관계를 분석한 후, 상관관계가 높은 요인을 이용하여 회귀모형식 산출 및 결과분석의 순서로 진행한다. 분석은 통계 패키지인 SPSS 17.0을 사용하였다.

항공수송에 영향을 미칠 수 있는 요인은 기지별 중앙물자, 수송기 구간 수, 중앙창에서 각 기지까지의 거리, 육로와 철도 수송예산을 대상으로 하였으며 1999년부터 2008년까지 공군 군수사령부 통계연보상의 자료를 이용하였다.



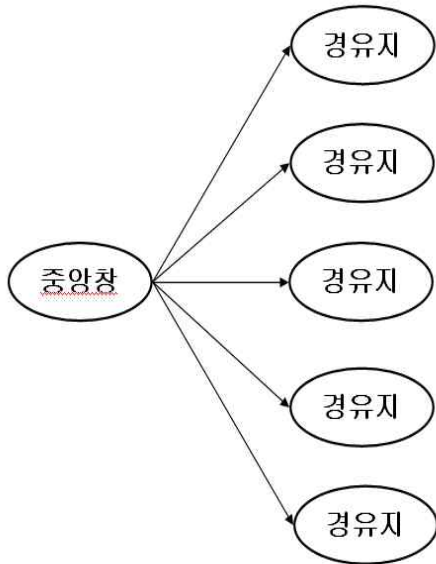
<그림 1> 연구 수행도

2. 군수물자의 수송

2.1 중앙물자 수송

물자수송은 기지 간 이동물자와 중앙 창에서 각 기지로 수송되는 중앙물자로 구분된다. 일반적으로 기지 간 이동물자는 중앙물자에 비해 물량이 극히 미미할 뿐 아니라 그 시기도 비정기적이어서

본 연구의 대상에서는 제외한다. 중앙물자 수송은 적절한 수송수단의 분담율과 물자수송 시기를 고려하여 항공, 철도, 육로의 모든 수단을 이용한다. 이 중 철도는 화차를 이용하는데 매년 한국철도공사와 요금을 정산하고, 육로수송의 경우 일반적으로 군 차량을 이용하지만, 군 능력초과 분에 대해서는 민간업체와 계약하여 수송한다. <그림 2>는 중앙물자 수송에 대한 개념을 나타낸 것이다(정병호 · 김익기, 2004).

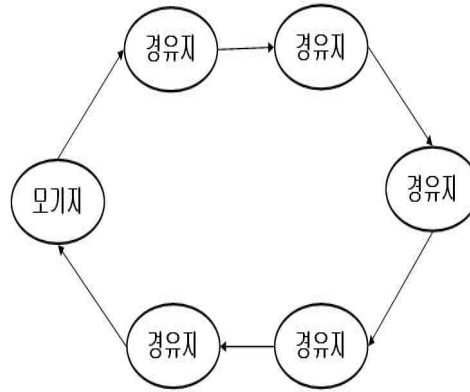


<그림 2> 중앙물자 수송 개념도

2.2 항공 수송

항공 수송은 크게 정기 공수(Scheduled Airlift)와 부정기 공수(Non-scheduled Airlift)로 나뉘어진다. 정기 공수는 정해진 시각 · 지정된 구간의 물자 및 인원수송 임무를 맡으며, 부정기 공수는 정기 공수 이외에 별도의 계획에 의하여 물자 및 인원을 수송하는 임무를 맡는다. <그림 3>에서와 같이 정기 공수는 하나의 모 기지를 출발하여 하루 동안 여러 경유지를 운행하여 다시 모 기지로 돌아오는 형태를 가지며, 그 시간표(schedule)는

<표 1>과 같이 1주일 단위로 운영된다. 정기 공수 시간표는 전군이 사용할 수 있도록 공 · 육 · 해군에 모두 배포되며, 보통 1년 단위로 전면 갱신하고, 6개월 단위로 수정된다(정병호 · 김익기, 2004).

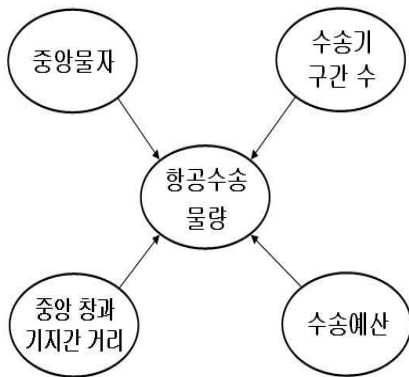


<그림 3> 정기공수 운영 개념도

<표 1> 정기 공수 시간표

요일	기종	구간
월	CN 235	0910 1010 1120 1350 1455 1615 B13 B0 B9 B8 B5 B0 B13 0940 1050 1220 1425 1545 1645
		0905 1005 1110 1330 1455 1555 B13 B2 B0 B5 B1 B3 B13 0935 1040 1200 1425 1525 1625
		0900 0955 1105 1305 1405 1515 B13 B0 B10 B9 B10 B0 B13 0925 1035 1135 1335 1445 1540
	C130	0930 1030 1245 1400 1455 1615 B13 B0 B6 B10 B4 B0 B13 1000 1115 1330 1425 1545 1645
		~
		0840 1010 1305 1450 1550 B13 B5 B14 B7 B5 B13 0940 1135 1420 1520 1650
금	CN 235	1010 1240 1345 1445 1550 B13 B14 B1 B2 B0 B13 1110 1315 1415 1520 1620
		0920 1020 1125 1335 1440 1545 B13 B0 B7 B11 B10 B9 B13 0950 1055 1205 1410 1515 1630
	CN 235	0910 1010 1115 1335 1455 1600 B13 B2 B0 B5 B0 B2 B13 0940 1045 1205 1425 1530 1630

2.3 항공 수송에 영향을 미치는 요인



<그림 4> 항공수송에 영향을 미치는 요인

항공수송물량은 매년 수송기를 통해 중앙창에서 각 기지로 수송되는 화물을 말한다. <그림 4>는 항공수송물량에 영향을 미치는 주요 요인이며, 그 의미는 다음과 같다.

2.3.1 중앙물자

중앙물자는 매년 중앙창에서 각 기지별로 항공, 철도, 육로 등 모든 수송방편에 의해 수송되는 물량을 말한다. 중앙물자는 항공수송의 기준이 되는 물자로서, 중앙창에서 기지로 수송해야 할 물량이 많을수록 항공수송물량이 많아질 것이라는 점을 착안했다.

2.3.2 수송기 구간 수

수송기 구간 수는 정기 공수 노선표 상에 나타나 있는 중앙창에서 각 기지로의 구간 개수를 의미한다. 만약 중앙창에서 각 기지로의 항공노선이 계획되어 있지 않으면 항공수송이 불가능하다는 점을 착안했으며, 수송기 기종에 따라 화물 수송능력이 크게 다르기 때문에 각 기종별 요인을 별도로 고려하였다. 현재 공군에서는 C-130과 CN-235 두 종류의 수송기를 운영하고 있으며,

제원상 화물 탑재량은 C-130이 43,300lbs이고, CN-235는 11,023lbs이다(공군 홈페이지, 2009).

2.3.3 중앙창과 기지간 거리

중앙창과 기지간의 거리는 거리가 멀수록 육로, 철도보다는 항공을 선택할 확률이 높아 항공수송 물량에 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 거리는 항공 경로상의 거리를 적용하였다.

2.3.4 수송예산

매년 배정되는 수송예산은 육로와 철도운임을 지불하기 위한 예산을 말한다. 예산이 풍부하면 육로나 철도를 선택할 여지가 커질 것이고, 예산이 부족하면 군 자체 수송방편인 항공에 의존하는 정도가 높아질 것이라고 판단했다.

3. 다중회귀모형

3.1 다중회귀모형의 개념

회귀분석은 종속변수를 설명하는 독립변수의 수에 따라 단순회귀분석과 다중회귀분석으로 나누어지는데 단순회귀모형은 종속변수를 설명하는 독립변수가 하나인 회귀모형이며, 여러 개의 독립변수를 포함하는 회귀모형을 다중회귀모형이라고 한다. 회귀모형의 기본 모형은 다음과 같다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

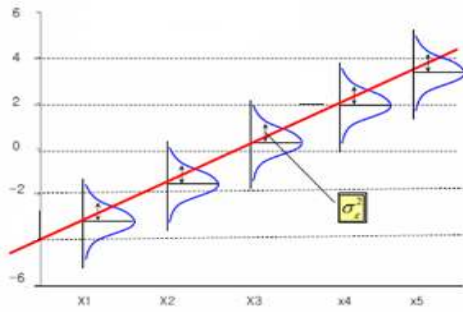
$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k : \text{회귀계수}, \varepsilon_i : \text{오차항}$$

3.2 다중회귀모형의 기본가정

회귀모형의 기본가정은 <그림 5>에서 보는 바와 같이 선형성, 오차의 정규성, 오차의 등분산성,

오차의 독립성이 있다. <표 2>는 기본가정에 대한 설명이다.



<그림 5> 회귀모형

<표 2> 기본가정 설명

가정	의미
선형성	독립변수와 종속변수는 선형관계를 가진다.
정규성	X값에 따른 오차항들은 정규분포를 이룬다.
등분산성	X값에 따른 오차항들의 분산은 σ^2 으로 모두 같다.
독립성	X값에 따른 오차항간에는 자기상관이 없다.

4. 항공수송물량 예측 모형

4.1 linear-linear 모형

4.1.1 독립변수 선정

상관분석은 변수와 변수간의 상관관계를 측정하는 Pearson의 상관계수를 사용하였다. <표 3>에서와 같이 독립변수와 종속변수인 항공수송물량과의 상관관계를 분석해본 결과 중앙물자 수송량은 0.301로 약한 상관관계를 띄고 있으며, 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 종속변수와 CN-235 구간 수와의 상관관계는 없었으나, C-130 구간 수는 0.623으로 강한 상관관계를 띄고 있으며, 이것 또한 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다.

이는 항공수송물량과 요인간의 상관관계 분석시 수송기 구간 수는 수송기별로 구분한데 대한 타당성을 보여주는 결과로 볼 수 있다. 중앙창과 기지간 거리, 수송예산은 종속변수와 상관관계가 없었다. 사회과학 분야에서는 일반적으로 Pearson의 상관계수가 0.3이상인 경우 상관관계가 있는

<표 3> 종속변수와 주요 요인간 상관분석

		항공수송물량	중앙물자	CN-235 구간수	C-130 구간수	중앙창과 기지간 거리	수송예산
항공수송물량	Pearson 상관계수	1	.301**	-.013	.623**	.274**	.069
	유의확률 (양쪽)		.002	.896	.000	.005	.487
	N	104	104	104	104	104	104
중앙물자	Pearson 상관계수	.301**	1	.141	.138	.087	-.269**
	유의확률 (양쪽)	.002		.152	.162	.379	.006
	N	104	104	104	104	104	104
CN-235 구간수	Pearson 상관계수	-.013	.141	1	-.404**	-.013	-.090
	유의확률 (양쪽)	.896	.152		.000	.896	.364
	N	104	104	104	104	104	104
C-130 구간수	Pearson 상관계수	.623**	.138	-.404**	1	.254**	.137
	유의확률 (양쪽)	.000	.162	.000		.009	.164
	N	104	104	104	104	104	104
중앙창과 기지간 거리	Pearson 상관계수	.274**	.087	-.013	.254**	1	-.001
	유의확률 (양쪽)	.005	.379	.896	.009		.992
	N	104	104	104	104	104	104
수송예산	Pearson 상관계수	.069	-.269**	-.090	.137	-.001	1
	유의확률 (양쪽)	.487	.006	.364	.164	.992	
	N	104	104	104	104	104	104

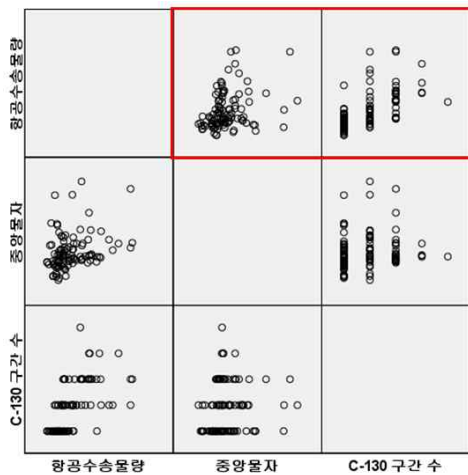
** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

것으로 보기 때문에 상관관계가 0.3이상인 지지별 중앙물자와 C-130 구간 수를 변수로 선정하였다.

4.1.2 기본가정에 대한 검증

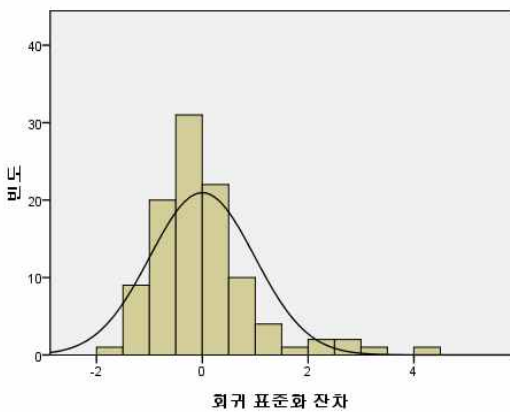
4.1.2.1 선형성 검증

<그림 6>는 독립변수와 종속변수간의 상관관계를 나타내는 산점도이다. 독립변수인 중앙물자, C-130 구간 수는 종속변수인 항공수송물량에 선형을 이루고 있음을 알 수 있다.



<그림 6> 선형성 검증

4.1.2.2 오차의 정규성 검증

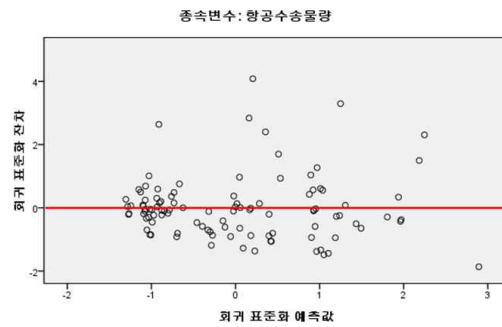


<그림 7> 오차의 정규성

오차(잔차)가 나타나는 빈도는 <그림 7>에서 보는 바와 같이 대체적으로 정규분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

4.1.2.3 오차의 독립성, 등분산성 검증

<그림 8>에서 추정회귀식상의 Y값인 회귀표준화 예측값이 변함에 따라 추정회귀식상의 Y값과 관측치의 차이인 회귀 표준화 잔차가 일정한 패턴이 없고 중앙선을 기준으로 균등하게 퍼진 것을 보아서 오차의 독립성과 등분산성이 유지되고 있음을 알 수 있다.



<그림 8> 오차의 독립성, 등분산성

4.1.3 항공수송물량 예측 모형식

<표 4> 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화 계수		t	유의확률
	B	표준 오차 오류	베타	t		
1 (상수)	17.344	6.982			2.484	.015
중앙물자	.047	.016	.219		2.902	.005
C-130 구간 수	27.710	3.526	.593		7.860	.000

a. 종속변수: 항공수송물량

<표 4>에서 보는 바와 같이 중앙물자의 회귀 기울기는 0.047이고 t값은 2.902로 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 이는 표본을 통한 산출된 회귀기울기가 모집단에서도 0이 아님을 t검정을 통해 알 수 있다. 또한 C-130 구간 수의 회귀 기울기는 27.710이고 t값은 7.860

으로 이것 또한 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있고, 회귀기울기가 모집단에서 0이 아님을 알 수 있다. 그래서 다중회귀분석을 통해 얻은 유효한 추정회귀식은 $Y = 17.344 + 0.047X_1 + 27.710X_2$ 이다.

<표 5>에서 보는 바와 같이 분산분석 결과는 F값이 38.994이며, 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 또한 오차항 ϵ 값은 $\epsilon \sim N(0, 1123.123)$ 의 정규분포를 따른다.

<표 5> 분산분석 결과

모형	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
1 회귀 모형	87589.985	2	43794.993	38.994	.000 ^a
잔차	113435.390	101	1123.123		
합계	201025.375	103			

a. 예측값: (상수), C-130 구간수, 중앙물자

b. 종속변수: 항공수송물량

<표 6> 모형요약 결과

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱
1	.660 ^a	.436	.425

a. 예측값: (상수), C-130 구간수, 중앙물자

<표 6>에서 보는 바와 같이 회귀모형의 설명도를 나타내는 R² 값은 0.436이다.

4.2 log-linear 모형

4.2.1 독립변수 선정

<표 7>에서와 같이 독립변수와 종속변수인 항공수송물량과의 상관관계를 분석해본 결과 중앙물자 수송량은 0.202로 아주 약한 상관관계를 띄고 있다. 반면, C-130 구간 수는 0.456으로 상관관계를 띄고 있으며, 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 나머지 CN-235 구간수, 중앙창과 기지간 거리, 수송예산은 종속변수와 상관관계가 없음을 알 수 있다. 최종적으로 독립변수는 C-130 구간수를 선정하였다.

4.2.2 기본가정에 대한 검증

4.2.2.1 선형성 검증

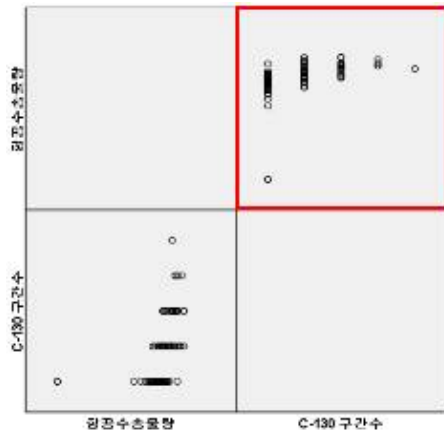
<그림 9>는 독립변수와 종속변수간의 상관관계를 나타내는 산점도이다. 독립변수인 C-130 구간수는 종속변수인 항공수송물량에 선형을 이루고 있지 않음을 알 수 있다.

<표 7> 종속변수와 주요 요인간 상관분석

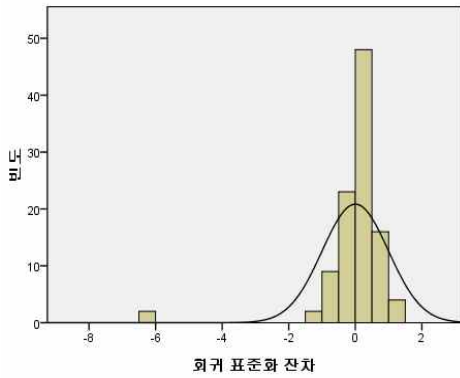
		항공수송물량	중앙물자	CN-235 구간수	C-130 구간수	중앙창과 기지간 거리	수송예산
항공수송물량	Pearson 상관계수	1	.202 [*]	.046	.456 ^{**}	.278 ^{**}	.094
	유의확률 (양쪽)		.040	.646	.000	.004	.342
	N	104	104	104	104	104	104
중앙물자	Pearson 상관계수	.202 [*]	1	.142	.138	.087	-.269 ^{**}
	유의확률 (양쪽)	.040		.151	.163	.379	.006
	N	104	104	104	104	104	104
CN-235 구간수	Pearson 상관계수	.046	.142	1	-.403 ^{**}	-.012	-.090
	유의확률 (양쪽)	.646	.151		.000	.901	.366
	N	104	104	104	104	104	104
C-130 구간수	Pearson 상관계수	.456 ^{**}	.138	-.403 ^{**}	1	.254 ^{**}	.138
	유의확률 (양쪽)	.000	.163	.000		.009	.164
	N	104	104	104	104	104	104
중앙창과 기지간 거리	Pearson 상관계수	.278 ^{**}	.087	-.012	.254 ^{**}	1	-.001
	유의확률 (양쪽)	.004	.379	.901	.009		.992
	N	104	104	104	104	104	104
수송예산	Pearson 상관계수	.094	-.269 ^{**}	-.090	.138	-.001	1
	유의확률 (양쪽)	.342	.006	.366	.164	.992	
	N	104	104	104	104	104	104

*. 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

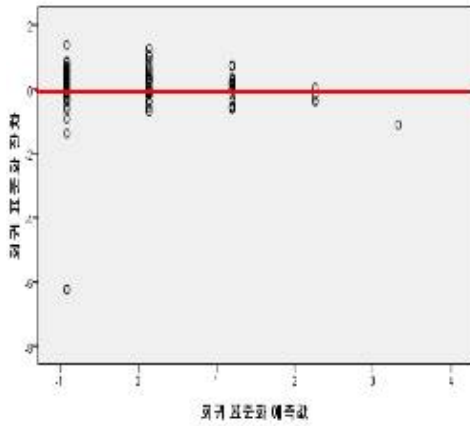
** . 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.



<그림 9> 선형성 검정



<그림 10> 오차의 정규성



<그림 11> 오차의 독립성, 등분산성

4.2.2.2 오차의 정규성 검정

오차(잔차)가 나타나는 빈도는 <그림 10>에서

보는 바와 같이 대체적으로 정규분포를 나타내고 있으나 이상치가 있음을 알 수 있다.

4.2.2.3 오차의 독립성, 등분산성 검정

<그림 11>에서 추정회귀식상의 Y값인 회귀표준화 예측값이 변함에 따라 추정회귀식상의 Y값과 관측치의 차이인 회귀 표준화 잔차가 점점 줄어들고 있는 패턴을 통해 오차의 독립성 및 등분산성이 유지되지 않음을 알 수 있다.

4.2.3 항공수송물량 예측 모형식

<표 8>에서 보는 바와 같이 C-130 구간 수의 회귀기울기는 0.290이고 t값은 5.174로 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 이는 표본을 통한 산출된 회귀기울기가 모집단에서도 0이 아님을 t검정을 통해 알 수 있다. 그래서 단순회귀분석을 통해 얻은 유효한 추정회귀식은 $Y = 1.338 + 0.290X_1$ 이다.

<표 8> 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화 계수		유의확률
	B	표준 오차 오류	베타	t	
1 (상수)	1.338	.072		18.658	.000
C-130 구간수	.290	.056	.456	5.174	.000

a. 종속변수: 항공수송물량

<표 9>에서 보는 바와 같이 분산분석 결과는 F값이 26.770이며, 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 또한 오차항 ϵ 값은 $\epsilon \sim N(0, 0.287)$ 의 정규분포를 따른다.

<표 9> 분산분석 결과

모형	제곱합	자유도	평균 제곱	F	유의확률
1 회귀 모형	7.687	1	7.687	26.770	.000 ^a
잔차	29.288	102	.287		
합계	36.974	103			

a. 예측값 (상수), C-130 구간수

b. 종속변수: 항공수송물량

<표 10>에서 보는 바와 같이 회귀모형의 설명도를 나타내는 R²값은 0.208이다.

<표 10> 모형요약 결과

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	표준 오차 추정치
1	.456 ^a	.208	.200	.53585

- a. 예측값: (상수), C-130 구간수
- b. 종속변수: 항공수송물량

4.3 linear-log 모형

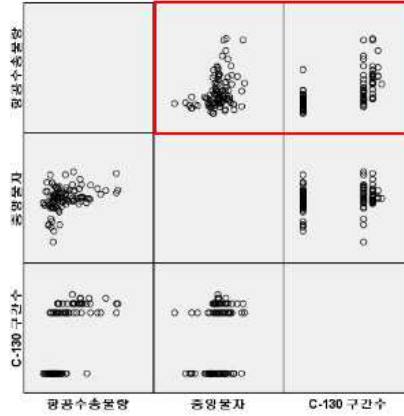
4.3.1 독립변수 선정

<표 11>에서와 같이 독립변수와 종속변수인 항공수송물량과의 상관관계를 분석해본 결과 중앙물자 수송량은 0.339로 약한 상관관계를 띄고 있으며, 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 종속변수와 CN-235 구간 수와의 상관관계는 없으나, C-130 구간 수는 0.602로 강한 상관관계를 띄고 있으며, 이것 또한 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다.

중앙창과 기지간 거리, 수송예산은 종속변수와 상관관계가 없었다. 최종적으로 독립변수는 중앙물자와 C-130 구간 수를 선정하였다.

4.3.2 기본가정에 대한 검정

4.3.2.1 선형성 검정



<그림 12> 선형성 검정

<그림 12>는 독립변수와 종속변수간의 상관관계를 나타내는 산점도이다. 독립변수인 중앙물자, C-130 구간 수는 종속변수인 항공수송물량에 대

<표 11> 종속변수와 주요 요인간 상관분석

		항공수송물량	중앙물자	CN-235 구간수	C-130 구간수	중앙창과 기지간 거리	수송예산
항공수송물량	Pearson 상관계수	1	.339**	-.170	.602**	.259**	.021
	유의확률 (양쪽)		.000	.085	.000	.008	.832
	N	104	104	104	104	104	104
중앙물자	Pearson 상관계수	.339**	1	.006	.225*	.048	-.302**
	유의확률 (양쪽)	.000		.949	.022	.628	.002
	N	104	104	104	104	104	104
CN-235 구간수	Pearson 상관계수	-.170	.006	1	-.500**	-.156	-.130
	유의확률 (양쪽)	.085	.949		.000	.114	.189
	N	104	104	104	104	104	104
C-130 구간수	Pearson 상관계수	.602**	.225*	-.500**	1	.261**	.055
	유의확률 (양쪽)	.000	.022	.000		.007	.580
	N	104	104	104	104	104	104
중앙창과 기지간 거리	Pearson 상관계수	.259**	.048	-.156	.261**	1	.000
	유의확률 (양쪽)	.008	.628	.114	.007		.993
	N	104	104	104	104	104	104
수송예산	Pearson 상관계수	.021	-.302**	-.130	.055	.000	1
	유의확률 (양쪽)	.832	.002	.189	.580	.993	
	N	104	104	104	104	104	104

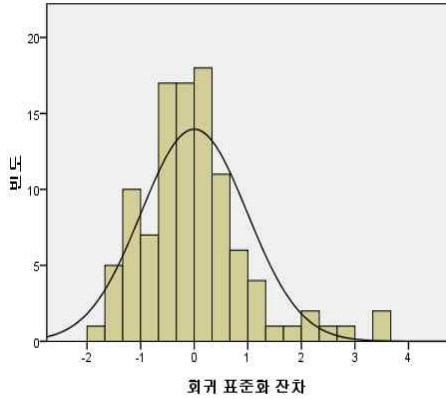
** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

체적으로 선형을 이루고 있음을 알 수 있다.

4.3.2.2 오차의 정규성 검정

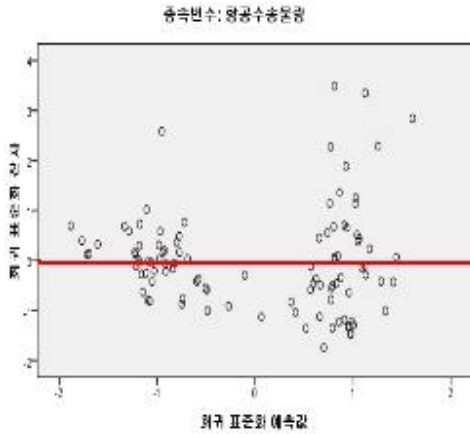
오차(잔차)가 나타나는 빈도는 <그림 13>에서 보는 바와 같이 대체적으로 정규분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.



<그림 13> 오차의 정규성

4.3.2.3 오차의 독립성, 등분산성 검정

<그림 14>에서 추정회귀식상의 Y값인 회귀표준화 예측값이 변함에 따라 추정회귀식상의 Y값과 관측치의 차이인 회귀 표준화 잔차가 일정한 패턴이 없으나 중앙선을 기준으로 점점 퍼지는 것을 보아서 오차의 독립성 유지되고 있으나 등분산성은 유지되지 않음을 알 수 있다.



<그림 14> 오차의 독립성, 등분산성

4.3.3 항공수송물량 예측 모형식

<표 12>에서 보는 바와 같이 중앙물자의 회귀 기울기는 36.704이고 t값은 2.726으로 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 이는 표본을 통한 산출된 회귀기울기가 모집단에서도 0이 아님을 t검정을 통해 알 수 있다. 또한 C-130 구간 수의 회귀 기울기는 22.473이고 t값은 7.035로 이것 또한 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있고, 회귀기울기가 모집단에서 0이 아님을 알 수 있다. 그래서 다중회귀분석을 통해 얻은 유효한 추정회귀식은 $Y = -14.873 + 36.704X_1 + 22.473X_2$ 이다.

<표 12> 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화 계수		t	유의확률
	B	표준 오차 오류	베타			
1 (상수)	-14.873	34.346			-.433	.666
중앙물자	36.704	13.462	.215		2.726	.008
C-130 구간수	22.473	3.195	.554		7.035	.000

a. 종속변수: 항공수송물량

<표 13>에서 보는 바와 같이 분산분석 결과는 F값이 34.515이며, 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 또한 오차항 ϵ 값은 $\epsilon \sim N(0, 1182.279)$ 의 정규분포를 따른다.

<표 13> 분산분석 결과

모형	제곱합	자유도	평균 제곱	F	유의확률
1 회귀 모형	81612.898	2	40806.449	34.515	.000 ^a
잔차	119410.152	101	1182.279		
합계	201023.050	103			

a. 예측값: (상수), C-130 구간수, 중앙물자

b. 종속변수: 항공수송물량

<표 14>에서 보는 바와 같이 회귀모형의 설명도를 나타내는 R^2 값은 0.406이다.

<표 14> 모형요약 결과

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	표준 오차 추정치의 표준오차
1	.637 ^a	.406	.394	34.38428

- a. 예측값: (상수), C-130 구간수, 중앙물자
- b. 종속변수: 항공수송물량

4.4 log-log 모형

4.4.1 독립변수 선정

<표 15>에서와 같이 독립변수와 종속변수인 항공수송물량과의 상관관계를 분석해본 결과 중앙물자 수송량은 0.219로 아주 약한 상관관계를 띄고 있으며, 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 종속변수와 CN-235 구간 수와의 상관관계는 없었으나, C-130 구간 수는 0.476으로 상관관계를 띄고 있으며, 이것 또한 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다.

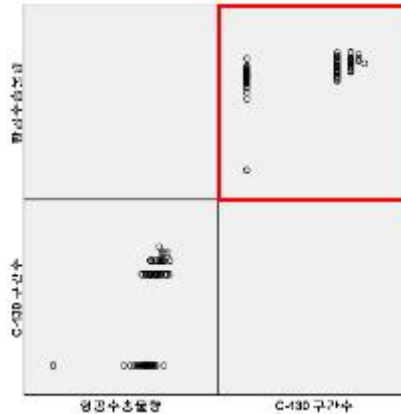
중앙창과 기지간 거리, 수송예산은 종속변수와

상관관계가 없었다. 최종적으로 독립변수는 C-130 구간 수를 선정하였다.

4.4.2 기본가정에 대한 검정

4.4.2.1 선형성 검정

<그림 15>는 독립변수와 종속변수간의 상관관계를 나타내는 산점도이다. 독립변수인 중앙물자, C-130 구간 수는 종속변수인 항공수송물량에 선형을 이루고 있지 않음을 알 수 있다.



<그림 15> 선형성 검정

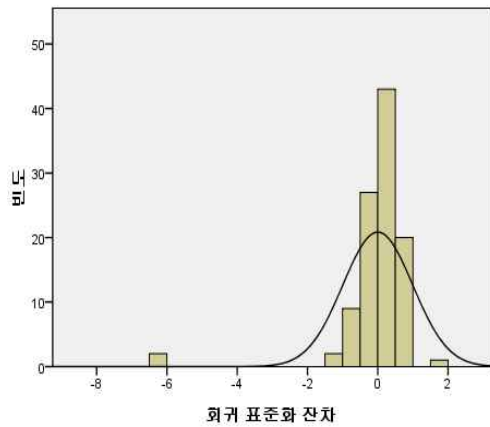
<표 15> 종속변수와 주요 요인간 상관분석

		항공수송물량	중앙물자	CN-235 구간수	C-130 구간수	중앙창과 기지간 거리	수송예산
항공수송물량	Pearson 상관계수	1	.219 [†]	-.066	.476 ^{**}	.266 ^{**}	.066
	유의확률 (양쪽)		.025	.509	.000	.006	.504
	N	104	104	104	104	104	104
중앙물자	Pearson 상관계수	.219 [†]	1	.006	.225 [*]	.048	-.302 ^{**}
	유의확률 (양쪽)	.025		.949	.022	.628	.002
	N	104	104	104	104	104	104
CN-235 구간수	Pearson 상관계수	-.066	.006	1	-.500 ^{**}	-.156	-.130
	유의확률 (양쪽)	.509	.949		.000	.114	.189
	N	104	104	104	104	104	104
C-130 구간수	Pearson 상관계수	.476 ^{**}	.225 [*]	-.500 ^{**}	1	.261 ^{**}	.055
	유의확률 (양쪽)	.000	.022	.000		.007	.580
	N	104	104	104	104	104	104
중앙창과 기지간 거리	Pearson 상관계수	.266 ^{**}	.048	-.156	.261 ^{**}	1	.000
	유의확률 (양쪽)	.006	.628	.114	.007		.993
	N	104	104	104	104	104	104
수송예산	Pearson 상관계수	.066	-.302 ^{**}	-.130	.055	.000	1
	유의확률 (양쪽)	.504	.002	.189	.580	.993	
	N	104	104	104	104	104	104

†. 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.
 **. 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

4.4.2.2 오차의 정규성 검정

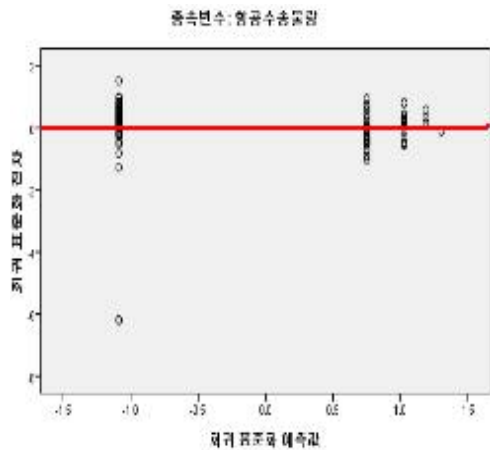
오차(잔차)가 나타나는 빈도는 <그림 16>에서 보는 바와 같이 대체적으로 정규분포를 나타내고 있으나 이상치가 있음을 알 수 있다.



<그림 16> 오차의 정규성

4.4.2.3 오차의 독립성, 등분산성 검정

<그림 17>에서 추정회귀식상의 Y값인 회귀표준화 예측값이 변함에 따라 추정회귀식상의 Y값과 관측치의 차이인 회귀 표준화 잔차가 일정한 패턴이 있고 중앙선을 기준으로 점점 좁아지게 퍼진 것을 보아서 오차의 독립성과 등분산성이 유지되고 있지 않음을 알 수 있다.



<그림 17> 오차의 독립성, 등분산성

4.4.3 항공수송물량 예측 모형식

<표 16>에서 보는 바와 같이 C-130 구간 수의 회귀 기울기는 0.262이고 t값은 27.752로 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있고, 회귀기울기가 모집단에서 0이 아님을 알 수 있다. 그래서 단순회귀분석을 통해 얻은 유효한 추정회귀식은 $Y = 1.804 + 0.262X_1$ 이다.

<표 16> 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준 오차 오류	베타		
1 (상수)	1.804	.065		27.752	.000
C-130 구간수	.262	.048	.476	5.468	.000

a. 종속변수: 항공수송물량

<표 17>에서 보는 바와 같이 분산분석 결과는 F값이 29.894이며, 95% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다. 또한 오차항 ϵ 값은 $\epsilon \sim N(0, 0.280)$ 의 정규분포를 따른다.

<표 17> 분산분석 결과

모형	제곱합	자유도	평균 제곱	F	유의확률
1 회귀 모형	8.380	1	8.380	29.894	.000 ^a
잔차	28.594	102	.280		
합계	36.974	103			

a. 예측값: (상수), C-130 구간수

b. 종속변수: 항공수송물량

<표 18>에서 보는 바와 같이 회귀모형의 설명도를 나타내는 R^2 값은 0.227이다.

<표 18> 모형 요약 결과

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	표준 오차 추정값의 표준오차
1	.476 ^a	.227	.219	.52947

a. 예측값: (상수), C-130 구간수

b. 종속변수: 항공수송물량

4.5 회귀모형간의 비교

<표 19>는 앞에서 분석한 linear model과 log로 인해 함수형태가 달라진 다른 모형간 t-통계량, R²값을 비교 분석한 결과이다. 모형별로 회귀계수의 t-통계량은 모두 적절하나 R²값은 linear model이 가장 높다. 또한 linear model을 제외하고는 회귀모형의 기본가정을 이행하고 있지 않음을 앞에서 확인했다. 이는 독립변수나 종속변수에 log 함수를 이용하여 함수형태를 변형하기 보다는 그렇지 않은 linear model이 분석하기에 적합함을 말한다. 또한 model 2,3,4와 같이 log 함수를 이용하면 회귀계수에 대한 해석이 달라진다. 예를 들면 model 4의 중앙물자 회귀계수는 0.352인데 이것은 중앙물자가 1% 증가할 때 항공수송물량은 0.352%만큼 증가함을 의미한다. 그래서 순수 항공수송물량을 예측하는데 있어 model 1이 비교적 해석이 간단하다.

5. 결론

본 연구는 항공화물수송에 영향을 미칠 것이라고 판단되는 주요 요인들을 대상으로 실제 관계가 있는 요인들만을 선별한 후 기지별 항공수송소요를 예측할 수 있는 다중회귀모형식을 산출하는 순서로 진행하였다. 산출된 다중회귀모형식은 기본가정을 충실히 지켰으며 각종 통계적 검증결과와 적절한 모형 설명력을 보았을 때 신뢰성 있는 자료로 활용될 수 있음을 보여주었다. 또한 연구를 진행하면서 항공화물수요에 결정적으로 영향을 미치는 주요 요인이 중앙물자 물량과 배정된 수송기 구간 수임을 알 수 있었고, 이러한 결과는 향후 항공화물수요 예측 및 관련 연구의 기본 틀이 될 것으로 생각된다.

본 연구는 항공노선 배정 작업에 객관적인 기준을 제시하여 효율적인 항공화물수송이 되도록 도움을 주고자 하는 목적에서 시작되었다. 본 연구가 향후 군 항공화물수송에 대한 연구의 시발점

<표 19> 함수 형태별 회귀모형 비교

<p>Model 1 : linear model 항공수송물량 = 17.344 + 0.047(중앙물자) + 27.710(C-130구간수) (2.902) (7.860) R² = 0.436</p>
<p>Model 2 : log-linear log(항공수송물량) = 1.338 + 0.290(C-130구간수) (5.174) R² = 0.208</p>
<p>Model 3 : linear-log 항공수송물량 = -14.873 + 36.704log(중앙물자) + 22.473log(C-130구간수) (2.726) (7.035) R² = 0.406</p>
<p>Model 4 : double-log log(항공수송물량) = 1.804 + 0.262log(C-130구간수) (5.468) R² = 0.227</p>

* 설명변수의 회귀계수 아래는 t-통계량임

이 되어 실질적인 분석 및 보완이 이루어진다면 보다 객관적이고 합리적인 군 운영이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] 공군 군수사령부, *공군 군수사령부 통계 연보*, 공군 군수사령부, 2008.
- [2] 공군 군수사령부, *군수사 규정 5-12 중앙물자 수송*, 공군 군수사령부, 2008.
- [3] 공군 군수사령부, *정기공수 운항 노선표*, 공군 군수사령부, 2008.
- [4] 공군본부, *공군 규정 5-21 항공수송*, 공군 본부, 2006.
- [5] 김연형, *시계열 예측*, 형설출판사, 2001.
- [6] 도철웅, *교통공학원론*, 박영사, 2001.
- [7] 원제무, *알기쉬운 도시교통*, 박영사, 2006.
- [8] 정병호, 김익기, “공군 창을 기반으로한 DC 운영전략,” *한국 SCM 학회지*, 제9권 1호, 2009.
- [9] 정병호, 김익기, “한국형 전술수송기의 적정 개발 규모와 의사결정 영향집단별 AHP조사 분석에 관한 연구,” *한국국방 경영분석학회지*, 제34권 제3호, 2008.
- [10] 정병호, 김익기, “군 수송기 화물 노선 배정에 관한 연구,” 한양대학교 석사학위 논문, 2004.
- [11] 정병호, 김익기, “군 항공화물수요 시계열 추정과 수송기 최적화 노선 배정,” *대한교통학회지*, 제22권 제5호, 2004.
- [12] Kutner and Nachtsheim, *Applied Linear Statistical Models*, McGraw Hill, 2005.
- [13] MCarthy, P. S., *Transportation Economics*, BlackWell, 2001.
- [14] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., and Simch-Levi, E., *Designing and Managing the Supply Chain*, McGraw Hill, 2008.
- [15] 공군본부, <http://www.airforce.mil.kr>, 2009.

■ 저자 소개 ■

서 세 경(E-mail: masai33@nate.com)

2003 공군사관학교 기계공학과(학사)
2003~2007 공군 제3훈련비행단
2007~2008 공군 군수사령부
현재 한양대학교 대학원 교통공학과 석사과정/공군대위
관심분야 수요분석, 최적화

정 병 호(E-mail: captjbh@naver.com)

1996 공군사관학교 산업공학과(학사)
1999~2002 공군 군수사령부
2002~2004 한양대학교 교통공학과(석사)
2006~2007 공군본부
현재 한양대학교 대학원 교통공학과 박사과정/공군소령
관심분야 물류, 최적화, 네트워크분석, 의사결정

김 익 기(E-mail: ikkikim@hanyang.ac.kr)

1982 한양대학교 도시공학과(학사)
1985 Michigan State Univ. 도시 및 지역계획(석사)
1990 Northwestern Univ. 토목공학(박사)
2008~현재 대한교통학회 부회장, 경기도 도시계획위원회 위원
현재 한양대학교 공학대학 교통공학과 교수
관심분야 교통수요분석, 교통체계분석, 네트워크분석