

An Optimization Model for Determining the Number of Military Cargo-plane

Hee Soo Kim* · Moon Gul Lee*[†] · Ho Seok Moon* · Seong In Hwang**

*Department of National Defense Science, Korea National Defense University

**Defense Force Research Center, Agency for Defense Development

군용 수송기 소요 산정 최적화 모형

김희수* · 이문걸*[†] · 문호석* · 황성인**

*국방대학교 국방과학학과

**국방과학연구소 군전력연구센터

In contemporary global warfare, the significance and imperative of air transportation have been steadily growing. The Republic of Korea Air Force currently operates only light and medium-sized military cargo planes, but does not have a heavy one. The current air transportation capability is limited to meet various present and future air transport needs due to lack of performance such as payload, range, cruise speed and altitude. The problem of population cliffs and lack of airplane parking space must also be addressed. These problems can be solved through the introduction of heavy cargo planes. Until now, most studies on the need of heavy cargo plane and increasing air transport capability have focused on the necessity. Some of them suggested specific quantity and model but have not provided scientific evidence. In this study, the appropriate ratio of heavy cargo plane suitable for the Korea's national power was calculated using principal component analysis and cluster analysis. In addition, an optimization model was established to maximize air transport capability considering realistic constraints. Finally we analyze the results of optimization model and compare two alternatives for force structure.

Keywords : Heavy Transporter Ratio, PCA(Principal Component Analysis), Cluster Analysis, Optimization, MIP(Mixed Integer Programming)

1. 서론

현대전에서 항공수송의 중요성은 날로 증대되고 있다. 군용수송기를 통한 항공수송은 병력, 장비, 물자를 공중으로 수송할 수 있는 공수 능력을 바탕으로 전시 아군 전력 투사 지원 및 작전 지속을 보장하고, 평시 재외국민보호, 해외 긴급구호, 국제 평화유지활동 등의 임무를 수행할 수

있게 한다. 또 테러 방지, 평화작전 기여로 국가의 국제적 역량 및 위상을 제고할 수 있다. 가까운 미래에는 소형위성 공중발사, 군집드론 공중투하, 장거리 미사일의 공중발사 등으로 대형수송기의 활용성이 무궁무진할 것이다. 이미 관련된 연구개발 및 실험이 세계 각국에서 활발하게 이루어지고 있으며 실전배치가 멀지 않아 보인다. 특히 미 공군은 수송기를 장거리 순항미사일 탑재 폭격기로 활용하는 방안을 강구하고 있다.

현재 대한민국 공군은 소형 및 중형 군용 수송기를 보유 및 운영 중이나 대형수송기는 미보유중으로 제한된 항공수송 능력과 보유 전력의 노후 등으로 항공수송 소요를

Received 30 November 2023; Finally Revised 14 December 2023;
Accepted 18 December 2023

[†] Corresponding Author : bombslee@naver.com

충족할 수 있는 효율적 작전 수행이 제한된다. 이러한 문제점들은 대형수송기 도입을 통해 해결 및 완화가 가능하다. 그러나 대형수송기를 얼마나 보유해야 할지 판단하기 어려우며 인구절벽, 주기공간 부족 등의 어려움을 해소해야 한다.

그 동안 대형수송기 도입 및 항공수송능력 증대에 관한 연구들은 대부분 그 필요성과 당위성에 집중하였으며, 수량 및 기종을 특정한 일부 연구들도 과학적인 근거를 제시하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 대한민국 국력을 고려하여 대형수송기 적정비율을 산정하고, 현실적 제약조건 하에서 항공수송능력의 효율성과 효과성을 극대화하며 군용 수송기 소요를 과학적으로 산정할 수 있는 최적화 모형을 제안한다.

2. 기존연구 고찰

국내에서 대형수송기 도입 필요성을 다룬 연구 중 구체적인 대수와 기종을 제시한 연구는 다음과 같다. Moon et al.[13]은 북한과의 전면전 대비, 주변국과의 분쟁 대비, 국제평화에의 기여라는 세 가지 차원에서 장거리 전력투사 능력의 기능을 살펴보고 국력의 증가에 따른 항공력의 균형된 발전, 전시연합수송전력 및 전쟁지속물자 수송, 해외 파병지원 및 긴급수송작전 수행, 분쟁지역 재외국민 철수 및 재난지역 긴급구호, 군사외교 및 방산수출을 위해 3~5대의 장거리 대형수송기가 필요함을 주장하였다. Jin[8]은 정부 해외재난 긴급구호 관련 법률 제정과 지원체계 발전 경과를 살펴보고 해외재난 긴급구호, 전쟁 이외의 군사활동 지원을 위한 항공전력 확보를 위해 C-17급 대형수송기 도입을 주장하였다. 그러나 위의 두 연구 모두 과학적인 근거를 제시하지는 않았다.

군용 항공기 소요와 관련한 연구가 있지만, 전투기 특정 임무 및 동원항공기를 대상으로 하여 비행기지 운용환경과 수송기의 특성이 고려되지 않았다. Park[14]은 선형계획법을 이용하여 공대지 임무를 위한 항공기 소요를 연구하였다. Kim[10]은 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 기법을 적용하여 군용 항공기 소요 산정 방법을 연구하였고, Kim and Yoon[9]은 대기행렬을 적용하여 전시 동원의 특성을 고려한 민간항공기 적정 동원 대수를 산출하였다.

미 공군에서는 항공수송 최적화 및 수송기 소요 산정 연구가 진행되었으나 대한민국 공군과 운용환경 및 체계가 달라 즉시 적용이 제한된다. Baker et al.[2]은 공중급유, 승무원 근무시간, 전환수송 등을 고려하여 NRMO(NPS/RAND Mobility Optimizer) 모델을 제시하였다. 이를 통해 미 공군은 필요한 항공기 소요를 산정하고 미 공군 공중기동사령부의 의사결정을 지원하였다.

본 연구에서는 세계 군사력 및 항공력 강국들의 국력 지표 데이터를 활용하여 대한민국 공군의 대형수송기 적정 보유비율을 산정한다. 그리고 미래 대한민국 공군의 항공수송능력을 향상할 수 있는 최적 소요 도출을 위해 비행단의 항공기 수용 여건과 수송기 제원 특성을 반영한 혼합정수계획 최적화 모형을 개발하고 결과를 분석한다.

3. 대형수송기 도입 필요성

3.1 군용 수송기 분류

군용 수송기는 적재중량에 따라 소형, 중형, 대형으로 구분하며, 본 연구에서는 <Table 1>과 같이 국제전략연구소(IISS, International Institution for Strategic Studies)의 기준을 따른다[7].

<Table 1> Classification of Military Cargo-plane by Payload

Class	Payload
Light	~11,340kg
Medium	~27,215kg
Heavy	~27,216kg

대한민국 공군이 보유 및 운영 중인 수송기는 소형 및 중형에 해당하며 대형은 미운영 중이다. 기종별 분류 내용은 <Table 2>와 같다[15]. 특수전임무를 수행하는 MC-130, 귀빈공수 임무를 수행하는 VCN-235, 전시 공중급유를 주임무로 하는 KC-330 기종은 제외하였다.

<Table 2> Classification of ROKAF Military Cargo-plane by Payload

Class	Model	Payload(ton)
Light	CN-235	5
Medium	C-130H	18
	C-130H-30	15.9
	C-130J	19

3.2 대형수송기 도입 필요성

기존연구 및 군내/외 문헌연구를 통해 정리한 대한민국 공군의 전/평시 및 미래 항공수송 소요는 <Table 3>과 같다.

〈Table 3〉 Requirements for Air Transportation

Classification	Requirements
wartime	resupply
	air assault
	ATSP support
	emergency transportation
	conversion from land/rail/sea transportation
peacetime	overseas citizens protection
	disaster relief
	Peace Keeping Operation
	transportation of goods from abroad
	military diplomacy
	defense industry export
future	small satellite aerial launch
	cluster drone aerial projection
	long-range missile aerial launch

현 보유 전력은 탑재중량, 순항거리, 순항고도 등이 제한되어 위의 다양한 항공수송 수요를 충족하기 어렵다. 탑재중량의 문제로 전시 대규모 병력 및 물자 재보급, 공정 및 공중강습작전 지원이 어렵고, 카고로더 등 ATSP(항공 추진보급기지, Air Terminal Supply Point) 개소 초기 투입되어야 하는 대형장비 항공수송이 불가하여 ATSP 활성화 시간이 오래 걸릴 수 있다. Kwon[11]에 따르면 순항거리와 관련하여 해외임무 가능 국가가 아시아지역 15개 국가로 한정된다. 해외에서 긴급히 공수해온 물자의 최종 목적지가 ATSP일 때 순항거리 문제로 직배송이 제한될 수 있다. 외교부 재외동포청의 재외동포 현황에 따르면[17] 동북아와 남아시아태평양을 제외한 지역의 2023년 재외동포 비중은 51.5%로 재외동포의 절반 이상을 긴급한 상황에서 신속하게 보호하기 어렵다. 한편 순항고도의 한계도 존재한다. Kwon[11]은 C-130 항공기는 Turbo-Prop 항공기로 저고도 항법에 적합하며 순항고도는 20,000~24,000피트이다. 이는 강한 돌풍과 우박, 뇌우를 동반하는 적란운(Cumulonimbus)이 가장 강한 부분의 고도와 일치하여 C-130 항공기가 해외임무 시 비행안전에 위협을 받는다고 주장하였다. 뿐만 아니라 앞으로 다가올 인구절벽으로 인한 병역자원의 지속적인 감소도 항공수송 운영에 제한사항이 될 것이다. 국방부[18]에서는 20세 남성인구는 2021년 29만 명에서 2035년 23만 명, 2040년에는 13만 이하일 것으로 전망한다. 또한 약 5년 이후 신규전력 도입을 가정하더라도 현 보유 전력의 수명이 도래하지 않아 군 비행단 내 수용공간이 부족할 실정이다. 공군 수송기 임무부대의 항공기 수용능력은 다양한 대형 항공기로 인하여 이미 포화 상태이다. 한편 현재 운영 중인 기종 중 CN-235와 C-130H는 모두 도입 이후 20년 이상 운영하였다. C-130H는

부품단종, 수리부속 수리원 감소, 운영유지비 증가 등 군수지원 여건이 지속 악화되는 추세이다. CN-235 또한 단종된 수리부속이 190여 품목으로 운영상 어려움이 있다.

대형수송기를 도입할 경우 현 보유 전력의 제한사항을 극복하고 항공수송 수요를 충족할 수 있다. 탑재중량, 순항거리, 순항고도 등 문제를 해결 및 완화하고 재외국민 보호, 해외 긴급구호, UN(국제연합, United Nations) 평화유지활동 등 해외임무를 수행하는데 적합하다. 병역자원이 감소하는 상황에서 더 적은 인원으로 더 많은 물량을 수송할 수 있고, 제한된 주기공간을 효율적으로 활용하면서 항공수송 능력을 증대할 수 있다. 노후 기종의 악화되는 군수지원 여건을 해결하고, 추가적으로 미래 예상되는 임무인 소형위성 공중발사, 군집드론 공중투하, 장거리 미사일 공중발사 등을 지원할 수 있다. 따라서 대한민국 공군의 대형수송기 도입이 절실하다.

4. 대형수송기 적정 보유비율 산정

조종사 수, 주기공간, 예산 등의 문제로 보유할 수 있는 수송기 규모는 한정적이며, 전략적 차원에서 소형/중형 대 대형수송기의 적정 비율을 고려해야 한다. 대형수송기 비율이 높으면 일시에 대량의 전투력 투사가 가능하지만, 동시에 다수의 목적지에 소량의 화물을 옮기기에는 비효율적이다. 본 연구에서는 군사력, 항공력 강국들과 대형수송기 보유국가의 수송기 보유비율을 참고하여 대한민국의 국력 수준에 걸맞은 대형수송기 적정 보유비율을 산정한다. Manly et al.[12]은 몇 개의 주성분이 자료 변동의 상당부분을 설명할 때, 주성분들을 이용한 군집분석은 군집을 발견하는 데 유용한 방법이라 하였다. 국력 주성분을 이용한 군집분석에서 우리나라와 동일 군집에 포함된 국가들의 대형수송기 보유비율을 참고하는 것은 적정 보유비율 산정을 위한 하나의 지표가 될 수 있다.

4.1 주성분분석

두산백과[4]에 따르면 국력이란 국가가 그 국가 목표나 국가 정책을 달성하기 위하여 보유하는 능력으로 물적 요소와 함께 기술적·정신적 요소의 복합적이며 다원적인 것이다. 국력의 구성요소로 원초적 요소는 인구, 영토, 천연자원 등이 있고, 국제정치적 요소는 군사력, 경제력, 정신력 등이 있다. 이들 중 계량하기 힘든 천연자원과 정신력은 제외하고 대형수송기 보유대수와 연관이 있을 것으로 예상되는 국력지표를 분석대상 변수로 고려하였다. 인구와 영토는 얼마나 많은 사람을 얼마나 넓은 지역에서 보호해야 하는가와 관련되어 있다. 군사력은 총병력, 국방비

지출액, 1인당 국방비 지출액, 국방비 지출액/GDP(국내총생산, Gross Domestic Product)로 세분화하였다. 총병력은 현역, 예비역, 준군사조직(경찰 등) 인원을 모두 고려하였다. 경제력은 다시 GDP, 1인당 GDP, GNI(국민총생산, Gross National Income), 1인당 GNI로 세분화하였다. GNI는 생산주체의 국적만을 따져서 대한민국 국민과 내국기업이 받은 수입의 총계로 GDP보다 상대적으로 재외국민 보호를 위한 소요와 더 연관지을 수 있다. 또 국제연합개발계획(UNDP, United Nations Development Program)이 삶의 질 측면에서 국민생활수준을 가늠하기 위해 개발한 인간개발지수(HDI, Human Development Index)를 추가하였다. 분석대상 변수는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Variables Expected to be Related to the Number of Military Heavy Cargo-plane

	Classification	Sub-classification
1	population	-
2	territory area	-
3	military power	number of forces
4		defense spending
5		defense spending per capita
6		defense spending % of GDP
7	economic power	GDP
8		GDP per capita
9		GNI
10		GNI per capita
11	HDI	-

분석대상 국가(개체)는 대한민국 포함 미국, 중국 등 35개국으로 GFP(Global Fire Power) 및 WDMMA(World Directory of Modern Military Aircraft) 20위 이내 및 대형수송기 보유국가이며 <Table 5>와 같다. GFP[6]는 미국 소재의 군사력 평가 단체로 매년 세계 각국의 전통적인 전쟁 수행 능력을 평가하여 전력지수(PwrIndx, Power Index)를 산출하고 순위를 발표한다. WDMMA[20]는 매년 세계 각 군의 항공력을 평가하여 항공력지수(TvR, True Value Rating)를 산출하고 순위를 발표하는데 미국과 같이 각 군이 대량의 항공력을 운영하는 경우 세분화하여 산출한다. 대형수송기 보유대수는 Military Balance 2023[7] 기준이며, 전체 수송기 보유대수에서 공군 외 타군 보유 수송기 및 다목적 공중급유기(MRTT, Multi-Role Tanker/Transport)는 제외하였다. 또한 현편 부대 보유수량만 고려하고 전시 예비부대 보유수량은 제외했다. 대형수송기 보유국가 중 국력 지표 자료를 확인할 수 없는 볼리비아, 쿠바, 북한, 수단, 시리아, 우즈베키스탄은 제외하였다.

분석대상 국가 국력 제원은 부록 <Table A1>에 기술하였다.

인구, GNI, 1인당 GNI는 세계은행(World Bank) 데이터뱅크를, 영토는 국제연합식량농업기구(FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations)를 참고하였다[5, 22]. HDI는 UN 인간개발보고서(HDR, Human Development Report)를 확인하였다[19]. 기타 변수의 자료는 Military Balance 2023에서 발췌하였다[7]. 기준시점은 2022년이며 일부 변수만 확인 불가한 경우 최근 시점의 자료를 사용하였다. 편집관계상 논문 말미에 배치하였다.

<Table 5> GFP/WDMMA Top 20 & Operating Heavy Cargo-plane Nations

Nation	Number of heavy cargo-plane	Heavy cargo-plane ratio	2023 GFP ranking	2023 WDMMA ranking
Algeria	11	16.0%	26	18
Angola	4	7.0%	55	-
Armenia	3	75.0%	94	-
Australia	8	17.0%	16	11
Azerbaijan	2	100.0%	57	-
Belarus	2	25.0%	60	-
Belgium	6	75.0%	68	-
Brazil	0	0.0%	12	12
Canada	5	12.0%	27	20
China	70	26.0%	3	4
Egypt	2	2.0%	14	17
France	19	17.0%	9	7
Germany	38	67.0%	25	15
India	28	12.0%	4	3
Indonesia	0	0.0%	13	21
Iran	12	10.0%	17	29
Israel	0	0.0%	18	6
Italy	0	0.0%	10	10
Japan	0	0.0%	8	5
Korea	0	0.0%	6	9
Kuwait	2	40.0%	78	-
Luxemburg	1	100.0%		
Malaysia	4	17.0%	42	-
Pakistan	0	0.0%	7	14
Poland	0	0.0%	20	-
Qatar	8	44.0%	65	-
Russia	125	28.0%	2	2
Saudi Arabia	0	0.0%	22	13
Spain	13	18.0%	21	19
Turkey	10	12.0%	11	16
Ukraine	4	15.0%	15	23
United Arab Emirates	8	27.0%	56	24
United Kingdom	28	64.0%	5	8
United States	182	54.0%	1	1
Vietnam	0	0.0%	19	-

주성분분석에 고유값이 1 이상이고 누적분산 비율이 78.9%인 3개의 주성분을 사용하였다. 각 주성분의 고유값과 누적분산비율은 <Table 6>과 같다.

제1주성분에는 GNI, 국방비 지출액, GDP, 영토 면적이 포함되었다. 제2주성분에는 인구, 총 병력, 1인당 GDP, 1인당 GNI, HDI가 포함되었고, 제3주성분에는 1인당 국방비 지출액과 GDP 대비 국방비 지출액 비율이 포함되었다. 주성분별 변수 적재값(loading)과 특징은 <Table 7>과 같다.

<Table 6> Eigen Value and Proportion of Principle Components

Principle Component	Eigen value	Proportion of variance	Cumulative proportion
1	3.906	35.5%	35.5%
2	3.434	31.2%	66.7%
3	1.341	12.2%	78.9%
4	0.725	6.6%	85.5%
...			

<Table 7> Principle Components' Loading and Characteristic

Variable	PC1	PC2	PC3	Characteristic
GNI	0.447	0.208	0.020	economic power & territory area
defense spending	0.444	0.144	-0.103	
GDP	0.443	0.223	0.006	
territory area	0.250	0.222	-0.015	population, # of forces & quality of life
population	0.165	0.393	0.020	
number of forces	0.072	0.382	-0.066	
GDP per capita	0.295	-0.379	0.170	
GNI per capita	0.321	-0.374	0.199	
HDI	0.245	-0.364	0.232	degree of defense spending
defense spending per capita	0.247	-0.321	-0.454	
defense spending % of GDP	0.024	-0.133	-0.809	

4.2 군집분석

국가별 주성분점수를 토대로 K-means, 계층적 군집분석을 시행하였다. K-means 군집분석에서 적정 군집 개수 K를 확인하기 위해 R 프로그램의 NbClust 패키지를 활용하였다. 1순위는 K=3으로 13개의 지표에서, 2순위는 K=10으로 5개의 지표에서 우수하다고 나타났다. 그러나 K=3인 경우 대한민국과 같은 군집에 포함된 국가들이 많고 전체 변동 중 군집 간 변동 비율(between sum of square/total sum of square)이 높아 군집화의 효율이 낮았다. 이에 군집화 효율이 더 높고 상대적으로 해석이 용이한 K=10을 군집 개수로 결정하였다. 성능이 우수하다고 알려진 Hartigan-Wong 알고리즘을 사용하였으며 지역해 안착 방식을 위해 랜덤스타트 횟수는 1,000회로 실행하였다.

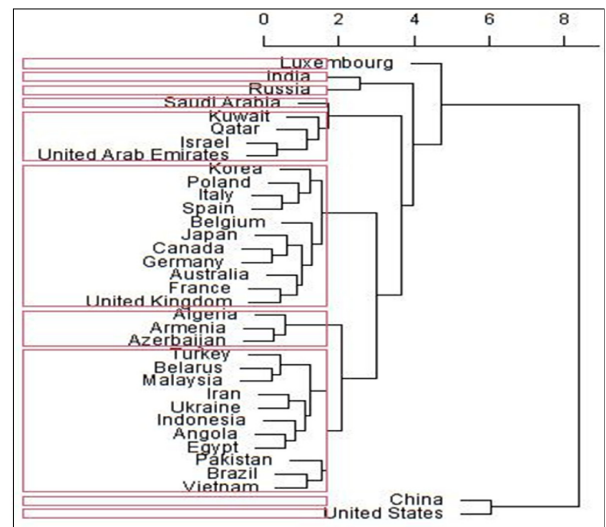
<Table 8> The Number of Clusters K

K	Number of times proposed by indices in NbClust	Between sum of square / Total sum of square
3	13	0.439
10	5	0.065

계층적 군집분석 시 Cophenetic 상관계수를 통해 각 거리측정 방법을 비교하였다. Cophenetic 상관계수가 1에 가까워 군집분석의 왜곡도가 작은 최단링크법(Single Linkage method), 중심법(Centroid method), 집단평균법(Group Average method) 중 K-means와 유사한 군집을 형성한 집단평균법을 선택하였다. 거리측정 방법에 따른 Cophenetic 상관계수는 <Table 9>와 같으며, 집단평균법을 사용한 계층적 군집의 덴드로그램은 <Figure 1>과 같다. 대한민국과 가장 유사한 국가는 폴란드, 이탈리아, 스페인 순으로 나타났다. 폴란드와 이탈리아는 대형수송기 미보유중이나 스페인은 대형수송기 13대를 보유 및 운영중이고, 대형수송기 비율은 18.0%이다.

<Table 9> Cophenetic Correlation Coefficient by Hierarchical Clustering Methods

Method	Coefficient
centroid	0.902
average	0.897
single	0.883
median	0.770
complete	0.765
ward.D	0.526



<Figure 1> Dendrogram of Hierarchical Clustering Using Group Average Method

K-means 및 계층적 군집 결과는 <Table 10>과 같다. 두 군집 모두 대한민국은 캐나다, 프랑스, 독일 등 10개국으로 이루어진 4군집, C군집에 포함되었다. K-means 및 계층적 군집의 비교는 실루엣 점수 평균(mean Silhouette score)을 사용하였다. 가가 실루엣 점수는 K-means 군집이 0.352, 계층적 군집이 0.321로 K-means 군집의 실루엣 점수가 더 높았다. 또한 중동 부유국가 중 사우디아라비아가 K-means 군집에서 5군집으로 묶인 반면 계층적 군집에서는 별도로 E 군집을 형성하였다. 이에 K-means 군집을 최종적으로 판단하였다.

<Table 10> Result of Clustering by Method

Nation	K-means (K=10)	Hierachical (average)	
Algeria	1	A	
Armenia			
Azerbaijan			
Belarus	2	B	
Iran			
Malaysia			
Poland			
Turkey			
Angola	3		B
Brazil			
Egypt			
Indonesia			
Pakistan			
Ukraine	4	C	
Vietnam			
Australia			
Belgium			
Canada			
France			
Germany			
Italy			
Japan			
Korea			
Spain	5	D	
United Kingdom			
Israel			
Kuwait			
Qatar			
United Arab Emirates	E		
Saudi Arabia			
China	6	F	
India	7	G	
Luxembourg	8	H	
Russia	9	I	
United States	10	J	

군집 간의 차이를 확인하기 위해 군집별로 차이검정을 실시하였다. 먼저 각 주성분별로 shapiro-wilk 정규성 검정을 실시하였다. 제1주성분은 정규성 검정 p-value가 1.368e-06로 정규성이 없어 Kruskal-Wallis H test를 실시한 결과 p-value가 7.907e-04로 유의하였다. 제2주성분 및 제3주성분은 shapiro-wilk 정규성 검정 p-value가 각각 0.4054, 0.4674로 정규성이 있어 Levene 검정을 통해 등분산성을 확인하였다. 이 때 군집 간 국력 차이가 심할 수 있음에 유의하여 절사평균(trim mean) 방법을 사용하였다. 이어서 ANOVA(분산분석, Analysis of Variance)를 실시하였고 p-value가 각각 2.81e-11, 3.89e-08로 유의하였다. 군집별 차이검정 결과는 <Table 11>과 같다. 사후검정으로 제1주성분은 Mann-Whitney U-test를, 제2주성분 및 제3주성분은 Tukey 검정을 진행하였다. 4군집을 기준으로 제1주성분은 1,2,3군집과 제2주성분은 모든 군집과, 제3주성분은 1, 5, 10군집과 유의미한 차이를 확인할 수 있었다.

추가로 군집 간 대형수송기 보유대수의 차이가 있는지 확인하기 위해 군집별로 차이검정을 실시하였으며 그 결과는 <Table 12>와 같다. 대형수송기 보유대수는 shapiro-wilk 정규성 검정 결과 p-value가 7.091e-10로 정규성이 없어 Kruskal-Wallis H test를 실시하였으나 p-value가 0.0958로 군집 간 차이가 없었다. 그러나 대형수송기 보유대수를 3개 주성분으로 각각 나누어 shapiro-wilk 정규성 검정 및 Kruskal-Wallis H test 확인 결과 군집 간 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타나 대형수송기 보유대수가 국력에 영향을 받음을 알 수 있었다. 차이검정을 통해 군집이 잘 이루어졌으며, 대한민국과 동일한 군집 내 국가들의 대형수송기 보유비율을 참고하는 것이 타당함을 확인하였다.

<Table 11> Result of Kruskal-Wallis H test/ ANOVA about principal components of clusters

	Method	p-value
PC1	Kruskal-Wallis H test	7.907e-04
PC2	ANOVA	2.81e-11
PC3	ANOVA	3.89e-08

<Table 12> Result of Kruskal-Wallis Rank Sum Test about the Number of Heavy Cargo Plane Devided by National Power Principle Components

	Kruskal-Wallis chi-squared	df	p-value
# of heavy cargo plane/PC1	17.848	9	0.0370
# of heavy cargo plane/PC2	27.568	9	0.0011
# of heavy cargo plane/PC3	20.514	9	0.0150

4군집에 포함된 국가들은 대한민국 제외 영국, 독일 등 9개국으로, 벨기에와 스페인을 제외하고 G20(Group of 20) 회원국이고 모두 해안을 접하고 있다. G20 국가의 총인구는 전 세계 인구의 3분의 2, GDP는 전 세계의 90%에 이르며, 전 세계 교역량의 80%가 이들 20개국을 통하여 이루어질 정도로 세계 경제에서 큰 비중을 차지한다[3]. 또한 모두 OECD(경제협력개발기구, Organization for Economic Cooperation)와 IMF(국제통화기금, International Monetary Fund) 기준 선진국(선진경제공동체)에 해당했고, 유엔개발계획의 인간개발지수를 기준으로 ‘매우 높은 인간발달수준 (Very High Human Development)’으로 분류된 국가들이었다[21]. 결과적으로 미국, 중국, 러시아 등 초강대국을 제외하고 경제력이 우수하며 삶의 질이 높은 선진국들이라 할 수 있다. 4군집의 대형수송기 보유대수 및 전체 수송기 대비 대형수송기 비율 기술통계량은 <Table 13>과 같다. 4군집의 대형수송기 보유비율 중앙값과 평균값을 고려하여 대한민국의 현재 국력 수준에 걸맞는 대형수송기 적정비율 범위를 17.0%~29.9%로 산정하였다. 산정한 적정비율 범위를 5장의 최적화 모형에서 매개변수로 사용할 것이다.

<Table 13> Descriptive Statistics about the Number of Heavy Cargo Planes Nations in Cluster 4 Hold

Nation	Number of heavy cargo-plane	Heavy cargo-plane ratio
Australia	8	17.0%
Belgium	6	75.0%
Canada	5	11.9%
France	19	16.7%
Germany	38	66.7%
Italy	-	-
Japan	-	-
Spain	13	17.8%
United Kingdom	28	63.6%
↓		
min	-	-
1Q	5	11.9%
median	8	17.0%
mean	13	29.9%
3Q	19	63.6%
max	38	75.0%

5. 수송기 소요 최적화 모형

5.1 문제정의 및 가정사항

본 모형은 구형 기종이 도태가 예정된 년도를 기준으로

신규 기종 소요량을 결정하는 것이다. 본 모형에서 입력되는 데이터는 일일 항공수송 요구량, 기종별 항공수송능력, 필요 조종사 인원 수 그리고 비행기지 주기장별 항공기 수용능력 등이 있다. 군사보안 목적상 공개할 수 없는 입력 데이터는 공란으로 설정하거나 임의로 설정하였다.

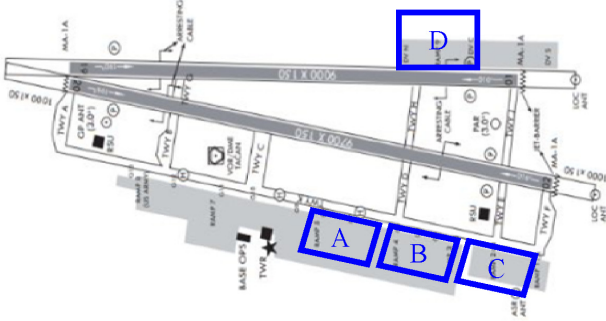
일일 항공수송 요구량은 일일 총 수송량과 수송수단별 분담률, 전환수송 소요를 고려하여 판단할 수 있다. 일일 총 수송량에 항공수송 목표분담률을 곱하고 회전의 일일수송능력 물량을 빼면 고정익 항공수송 소요가 된다. 타 수송수단이 제한될 경우 긴급 전환수송 소요가 예상되므로 타 수송수단 물량의 일부를 추가로 지원할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 일일 총 수송량을 00,000톤, 항공수송 분담률 00%, 회전의 일일수송능력 00톤, 전환수송 소요 0%를 기준으로 적용하여 전시 일일 항공수송 요구량을 0,000톤으로 사용하였다. 기종별 항공수송능력과 필요 조종사 인원 수는 현재 운영중인 소형, 중형 기종과 대형수송기는 A400M의 능력으로 <Table 14>와 같이 설정하였으며 큰 값을 기준으로 나누어 비율로 정규화하였다. 비행기지 주기장 항공기 수용능력은 기지와 기종의 특성, 지원시설의 입지 등을 종합적으로 고려하여 판단하며 <Table 15>의 내용을 가정한다. 항공정보통합관리 사이트[1]는 공항 요도를 제공한다. <Figure 2>는 임의 비행단의 예시로 주기공간을 상자로 나타냈다. 총 가용 조종사 수 상한은 000명, 총 수송기 대수 상한은 00대로 설정하였으며 대형수송기 비율의 하한과 상한은 단계별로 높여나가는 것으로 적용하였다. 현재 보유대수는 <Table 16>과 같이 가정한다. 최적화 모형을 통해 현재 운영중인 중형 및 소형 기종이 2040년과 2060년에 각각 집중적으로 도태됨을 가정하여 최적화 결과를 산출한다.

<Table 14> Cargo Planes' Original & Normalized Specification

	Unit	Light	Medium1	Medium2	Heavy
Payload	ton	4	12.7	15.2	30
Range	km	1550	1944.6	3148.4	4539
Speed	km/h	441	589	660	741
Pilot	number	2	3	2	2
↓normalize					
	Unit	Light	Medium1	Medium2	Heavy
Payload	ratio	0.13	0.42	0.51	1.00
Range	ratio	0.34	0.43	0.69	1.00
Speed	ratio	0.60	0.79	0.89	1.00
Pilot	ratio	0.67	1.00	0.67	0.67

<Table 15> Parkable Number of Cargo Plane of Each Parking Space

Base	Parking space	Light	Medium1	Medium2	Heavy
1	A	10	6	6	4
	B	16	10	10	6
	C	7	4	4	1
	D	6	3	3	0
2	E	10	6	6	4
	F	7	4	4	0
	G	6	3	3	1
	H	6	4	4	1



<Figure 2> Example for Parking Spaces in Base

<Table 16> The Present Number of Cargo Planes by Base

Base	Light	Medium1	Medium2	Heavy
1	10	4	-	-
2	10	4	7	-

5.2 최적화 모형 수립

5.2.1 인덱스(Indices) 및 집합(Sets)

$i \in I$: 운용기지, $I = \{\text{비행단1, 비행단2}\}$
 $j \in J$: 주기장, $J = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$
 $k \in K$: 기종,

$K = \{Light, Medium1, Medium2, Heavy\}$

$K_H = \{Heavy\}, K_H \subset K$

$K_{old} = \{Light, Medium1\}, K_{old} \subset K$

$K_{new} = \{Medium2, Heavy\}, K_{new} \subset K$

5.2.2 매개변수(Parameters)

$load_demand$: 전시 일일 항공수송 요구량(톤)
 $pilot_ub$: 총 가용 조종사 수 상한
 $plane_ub$: 총 수송기 대수 상한
 h_ratio_lb : 대형수송기 비율 하한

h_ratio_ub : 대형수송기 비율 상한
 $n_payload_k$: 기종 k 의 적재량(비율)
 n_range_k : 기종 k 의 항속거리(비율)
 n_speed_k : 기종 k 의 순항속도(비율)
 n_pilot_k : 기종 k 의 대당 조종사(비율)
 $payload_k$: 기종 k 의 적재량(톤)
 $range_k$: 기종 k 의 항속거리(km)
 $speed_k$: 기종 k 의 순항속도(km/h)
 $pilot_k$: 기종 k 의 대당 조종사(명)
 $qty_held_{i,k}$: 도태계획을 고려한 i 기지의 기종 k 보유대수
 $qty_parkable_{i,j,k}$: i 기지의 j 주기장에 k 기종 최대 수용대수
 M : 큰 수

5.2.3 결정변수(Decision variables)

$X_{i,j,k}$: i 기지의 j 주기장에 할당된 k 기종 대수, 비음정수
 $Y_{i,k}$: i 기지에 k 기종이 할당되면 1 / 0, otherwise
 $Z_{i,k}$: i 기지에 k 기종이 할당되면 1 / 0, otherwise
 $W_{i,j,k}$: i 기지의 j 주기장에 k 기종이 할당되면 1 / 0, otherwise

5.2.4 목적함수 및 제약식

- 목적식(Objective function)

$$Max \sum_i \sum_j \sum_k (n_payload_k + n_range_k) X_{i,j,k} + \sum_i \sum_{k \in K_{new}} (Y_{i,k} + Z_{i,k}) + \sum_i \sum_j \sum_{k \in K_{new}} W_{i,j,k} \quad (1)$$

- 제약식(Constraints)

$$\sum_i \sum_j \sum_k 3 \times payload_k \times X_{i,j,k} \geq load_demand \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k pilot_k \times X_{i,j,k} \leq pilot_ub \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k X_{i,j,k} \leq plane_ub \quad (4)$$

$$\sum_j X_{i,j,k} = qty_held_{i,k} \quad (5)$$

$$\sum_j X_{i,j,k} \geq qty_held_{i,k} \quad (6)$$

$$Y_{i,k} + Z_{i,k} \leq 1, \forall k \in K_{new} \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K_{new}} X_{ijk} \geq 2 \times Y_{ik} \tag{8}$$

$$\sum_{k \in K_{new}} X_{ijk} \geq 4 \times Z_{ik} \tag{9}$$

$$X_{ijk} \leq qty_parkable_{ijk} \tag{10}$$

$$X_{ijk} \leq M \times W_{ijk} \tag{11}$$

$$\sum_k W_{ijk} \leq 1 \tag{12}$$

$$\sum_i \sum_j \sum_{k \in K_H} X_{ijk} \geq h_ratio_lb \times \sum_i \sum_j \sum_k X_{ijk} \tag{13}$$

$$\sum_i \sum_j \sum_{k \in K_H} X_{ijk} \leq h_ratio_ub \times \sum_i \sum_j \sum_k X_{ijk} \tag{14}$$

목적식은 보유 수송기의 적재량, 순항속도, 항속거리를 최대화하며 필요한 조종사의 수는 최소화한다. 합참교리 합동수송지원[16]에 따르면 합동수송지원의 목표는 “지휘관의 작전개념에 부응하기 위해 작전지역으로 병력, 장비 및 물자 등을 적시, 적소에 효율적으로 이동시켜 목표지역 내에 전투력을 신속히 증강시키는 것”이다. 이 목표를 달성하기 위한 항공수송 능력은 얼마나 ‘많은 물량(병력, 장비 및 물자 등)을’, ‘멀리(적소)’, ‘빠르게(적시)’ 수송할 수 있는지로 나타낼 수 있으므로 적재능력, 순항속도, 항속거리로 표현하다. 이 때 각 능력은 기종별로 정규화하여 표현하며, 능력 간 가중치는 동일한 것으로 본다. 적재능력은 최대 적재가능중량의 80% 수준인 안전 적재중량을 적용한다. 동시에 신규전력을 우선적으로 도입 및 주기하도록 독려한다.

제약식 (2)는 보유 수송기의 항공수송 능력이 전시 기준 일일 항공수송 요구량 이상어야 한다는 것이다. 수송기는 일일 최대 3회 운영이 가능하며, 출발지에서 적재 및 이륙하여 목적지에 하역 후 다른 기지를 경유하지 않고 출발지로 돌아온다. 제약식 (3), (4)는 인구절벽을 고려하여 조종사와 총 수송기 대수는 현재보다 늘어날 수 없게 한다. 수송기 대수가 늘어난다는 것은 지원하기 위한 제반 병력의 증가가 필수적으로 수반되기 때문이다. 제약식 (5)는 도입하고자 하는 기종 대수가 계획에 따른 도태 후 잔여 대수 이상을 보유하여야 함을 의미한다. 제약식 (6)은 도입하지 않고자 하는 기종의 대수를 현재 보유 대수로 유지한다. 제약식 (7), (8), (9)는 신규전력은 일시에 2대 또는 4대 이상 도입되어야 함을 의미한다. 교육훈련, 비상대기, 계획 정비 등을 고려했을 때 원활한 작전운영을 위해 비행대대를 구성하기 위한 최소수량을 보장한다. 제약식 (10)은 주

기장의 기종별 수용능력 내에서만 주기가 가능하다는 의미이다. 제약식 (11), (12)는 각 주기장에 다기종 혼합주기를 제한하며 한 기종을 단독 주기하도록 한다. 항공작전 및 정비지원 등 효율적 운영을 위해 같은 기종은 한 주기장에 모아서 주기하는 것이 일반적이다. 제약식 (13), (14)은 4장에서 산출한 대형수송기 적정비율 범위의 하한과 상한을 반영한 것이다.

5.3 최적화 결과 분석

수리모형은 최적화프로그램 GAMS(General Algebraic Modeling System) 30.1.2 버전을 이용하여 실행하였다. 실행환경은 Intel(R) Core(TM) i7-1260P 2.10 GHz이다.

현재 수송기 보유대수는 위의 <Table 11>에 나타나 있으며 소형수송기 20대, 중형수송기 15대를 보유하고 있다. 일일 항공수송능력은 000톤으로 전시 일일 항공수송 요구량의 60% 수준을 지원할 수 있는 상황이다.

2040년은 중형1 기종이 집중적으로 도태되는 시기로 모형에서는 더 적은 인원으로 항공수송능력을 극대화할 수 있는 대형수송기를 우선적으로 선택한다. 소형수송기 20대, 중형수송기 7대, 대형수송기 6대를 보유하며, 주기공간 제약과 대형수송기의 도입으로 총 수송기 대수는 2대가 줄어 33대가 되었다. 이 때 일일 항공수송능력은 0,000톤으로 전시 일일 항공수송 요구량의 76.9%를 지원할 수 있다. 대형수송기 비율은 18.2%로 적정비율 범위에 포함되며 현재 대비 84.6% 조종사 투입으로 일일 항공수송량의 약 1.27배 지원이 가능하다. 2040년 최적화 결과는 <Table 17>과 같다.

<Table 17> The Optimized Number of Cargo Planes by Base in 2040

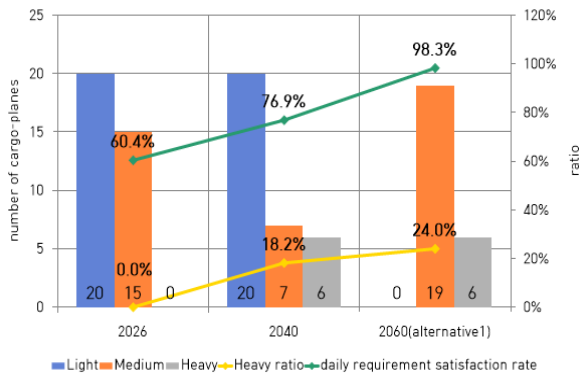
Base	Light	Medium1	Medium2	Heavy	Total
1	1	0	0	6	16
2	10	0	7	0	17
Total	20	0	7	6	33

2060년은 소형 기종이 집중적으로 도태되는 시기이다. 도태되는 소형수송기를 중형과 대형으로 나누어 도입 및 대체하는 1안과 대형으로만 대체하는 2안으로 나누어 비교한다. 2060년 1안에서는 중형2 기종이 12대 도입되었다. 그 결과 중형수송기 19대, 대형수송기 6대를 보유하며 총 수송기 대수는 8대가 줄어 25대가 되었다. 일일 항공수송 능력은 0,000톤으로 일일소요 98.3%를 지원할 수 있다. 대형수송기 비율은 24.0%로 적정비율 범위에 포함된다. 현재 대비 64.1% 조종사 투입으로 일일 항공수송량의 약

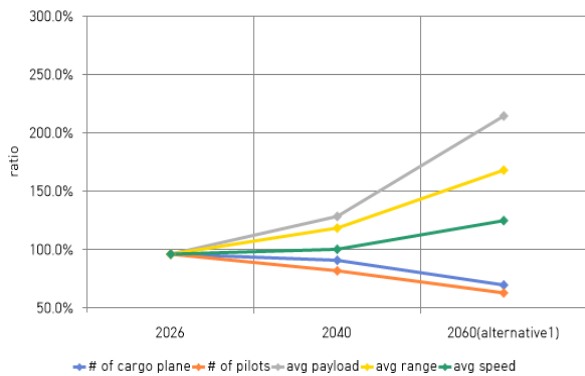
1.63배 지원이 가능하다. 2060년(1안) 최적화 결과는 <Table 18>과 같다. 연도별 수송기 대수 및 일일 소요 충족률은 <Figure 3>, 연도별 수송능력은 <Figure 4>로 도식화하였다.

<Table 18> The Optimized Number of Cargo Planes by Base in 2060 Applying Alternative 1

Base	Light	Medium1	Medium2	Heavy	Total
1	0	0	6	6	12
2	0	0	13	0	13
Total	0	0	19	6	25



<Figure 3> The Number of Cargo Planes by Year Applying Alternative 1



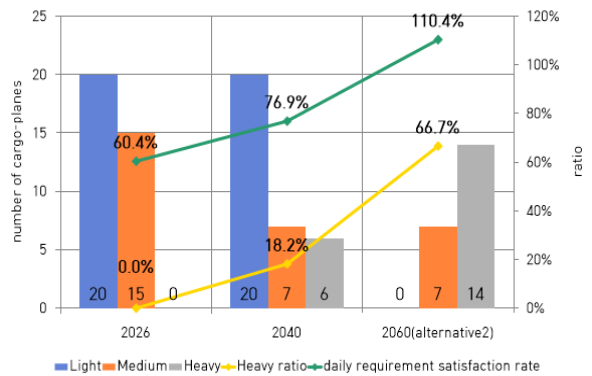
<Figure 4> Air Transportation Capability by Year Applying Alternative 1

2060년 2안에서는 소형수송기를 대형수송기로만 대체하여 대형수송기가 8대 추가로 도입되었다. 이 때 중형수송기 7대, 대형수송기 14대를 보유하며 총 수송기 대수는 21대로 12대가 줄어들었다. 일일 항공수송능력은 0,000톤으로 전시 일일 항공수송 요구량을 상회하며, 일일소요 110%를 지원할 수 있다. 대형수송기 비율이 66.7%로 산정한 적정비율 범위를 벗어나지만, 대한민국과 동일 군집의

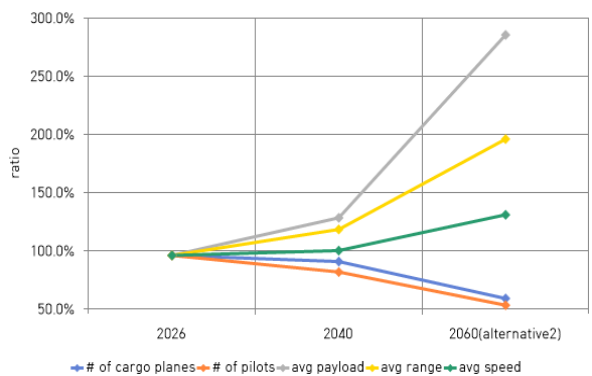
대형수송기 보유비율 중 약 3사분위수에 가까우며 이상치에 해당하지 않는다. 현재 대비 53.8% 조종사 투입으로 일일 항공수송량의 약 1.83배 지원이 가능하다. 2060년(2안) 최적화 결과는 <Table 19>와 같다. 연도별 수송기 대수 및 일일 소요 충족률은 <Figure 5>, 연도별 수송능력은 <Figure 6>로 도식화하였다.

<Table 19> The Optimized Number of Cargo Planes by Base in 2060 Applying Alternative 2

Base	Light	Medium1	Medium2	Heavy	Total
1	0	0	0	10	10
2	0	0	7	4	11
Total	0	0	7	14	21



<Figure 5> The Number of Cargo Planes by Year Applying Alternative 2



<Figure 6> Air Transport Capability by Year Applying Alternative 2

2060년 1안과 2안 모두 더 적은 수송기와 조종사로 항공수송능력을 향상할 수 있는 방법으로, 장단점이 있어 단순히 어떤 것이 더 낫다고 할 수 없다. 1안은 중형 및 대형수송기 비율이 적정하고 효율적인 운영이 가능하나 일일

소요를 100% 충족하지 못한다. 반면 2안은 더 적은 조종사로 더 많은 물량을 수송하고 일일 소요를 100% 이상 충족할 수 있다. 대량의 병력 및 물자, 전투력을 신속하고 효과적으로 수송할 수 있지만 동시에 다수의 목적지에 소량의 화물을 옮겨야 하는 상황에서는 비효율적인 작전을 수행해야 할 수 있다. 군이 국가전략과 전력건설 의도에 따라 정책적인 판단을 통해 결정할 수 있는 선택지로 제시하였다.

6. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 국력에 따른 대형수송기 적정비율을 산정하고 항공수송능력의 효율성 및 효과성을 극대화할 수 있도록 수송기 소요를 최적화하기 위한 연구이다. 본 연구의 내용은 기존연구들과 다음과 같은 면에서 차이점이 있다. 첫째, 기존연구 분석과 군내/외 문헌연구를 통해 대형수송기 이론적 소요를 전시, 평시, 미래로 나누어 정리하였다. 이후 대한민국 공군 수송기 전력 현황 및 제한사항을 분석하고, 현재 대한민국 공군이 마주하고 있는 다양한 문제점들은 대부분 대형수송기 도입을 통해 해결 및 완화 가능성을 확인하였다. 둘째, 국력 지표를 활용하여 주성분분석 및 군집분석을 수행하고 대한민국 국력 수준에 걸맞는 대형수송기 적정비율을 과학적으로 산정 및 제시하였다. 마지막으로 전시 일일 항공수송 소요를 충족하되 조종사 수, 도태계획, 주기능력, 대형수송기 비율 등 제약조건을 하에서 전력을 최적화할 수 있는 모형을 수립하고 최적화 결과를 분석하였다. 이 과정에서 일일 항공수송 요구량 값을 산출하는 방법을 제시하였고 대형수송기 도입을 위한 방안을 2개로 나누어 제안하였다.

국력지표 주성분분석 및 군집분석을 활용해 산정한 대형수송기 적정 보유비율 범위 17.0%~29.9%는 지금까지의 연구와 달리 국력 수준을 활용해 과학적인 방법으로 도출하였기에 의미가 있다. 연구에 활용한 국력지표는 이론적으로 어떠한 국가를 표현하고 평가하는 것들이다. 우리나라보다 경제력, 군사력이 뒤처지는 국가들도 대형수송기를 보유하고 있음은 매우 안타까운 일이며 우리가 하루빨리 대형수송기를 보유해야 하는 근거이기도 하다.

혼합정수계획법을 활용한 군용 수송기 소요산정 모형의 최적화 결과는 대형수송기 도입 시 더 적은 수의 조종사와 항공기로 항공수송능력을 증대하여 효율적이고 효과적인 작전운영이 가능함을 보였다. 2060년 2안의 경우 일일 항공수송 요구량을 100% 이상 지원 가능하며, 특히 항공기 대당 평균 탑재능력이 약 3배에 가깝게 향상되는 것을 확인할 수 있다.

향후 연구방향으로 항공수송능력 향상 및 전력 발전을

위해 다양한 연구 보완과제가 남아있다. 본 연구에서 산정한 대형수송기 적정 보유비율은 국력지표 변수 및 기준연도에 따라 달라질 수 있으므로 전략적 차원에서 검토가 필요하다. 최적화 모형은 노후기종 조기도태와 신규 기종 도입 수량 판단을 위한 공군 정책 의사결정 근거 자료로 활용할 수 있으며, 신규전력 도입 검토 시 기종별 효과 분석 및 대안 비교가 가능하다. 활용목적에 따라 순항속도, 항속거리, 순항고도 등의 제약을 추가할 수 있고, 전문가 AHP 연구를 통해 탑재중량, 항속거리, 순항속도의 중요도가중치 비교 연구를 진행하면 더욱 정교한 소요량 산출이 가능할 것이다. 현 전력 유지와 신규 전력 확보 비교 시에는 구매비용과 운영유지비를 함께 고려할 필요가 있다. 전시 북한지역 병참선 피해를 연구를 통해 전환수송 소요를 구체화할 수 있다면 전시 일일 항공수송 요구량 또한 정교화할 수 있을 것이다. 마지막으로 미래 진장환경 하에서 수송기 활용성 증대에 따라 소형위성발사, 군집드론 공중투하, 장거리 미사일 투하 외에도 아직 드러나지 않은 추가 소요를 적극 발굴할 필요가 있다.

References

- [1] Aeronautical Information Management, <https://aim.koca.go.kr>.
- [2] Baker, S.F., Morton, D.P., Rosenthal, R.E., and Williams, L.M., Optimizing Military Airlift, *Operations Research*, 2002, Vol. 50, No. 4, pp. 582-602.
- [3] Doosan Encyclopedia, G20, <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1347950&cid=40942&categoryId=31659>.
- [4] Doosan Encyclopedia, National power, <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1170389&cid=40942&categoryId=31645>.
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations, <https://www.fao.org/home/en>.
- [6] GFP, <https://www.globalfirepower.com>.
- [7] International Institute for Strategic Studies (IISS), *The Military Balance 2023: The Annual Assessment of Global Military Capabilities and Defence Economics*. Routledge, 2023.
- [8] Jin, J.G., Research on the development direction of military transport aircraft mission support related to "Government Overseas Disaster Emergency Relief", *Air Review*, 2011, Vol. 128, pp. 87-115.
- [9] Kim, K.M. and Yoon, B.K., An Analysis on the Proper Number of Civil Aircraft Considering Characteristics of Wartime Mobilization, *Korean Journal of Logistics*, 2019, Vol.27, No.3, pp.117-129.

- [10] Kim, S.M., Military aircrafts proper quantity decision model using simulation analysis, *The Korea Society For Simulation*, 2014, Vol.23, No.4, pp.151-161.
- [11] Kwon, P.J., The need for a strategic transport aircraft suitable for the Korean Peninsula(with a focus on the limitations of the C-130 mission) [master's thesis]. [Daejeon, Korea]: Mokwon University, 2009.
- [12] Manly, B.F.J., Alberto, J.A.N., *Multivariate Statistical Methods*, Free Academy, 2020.
- [13] Moon, J.I., Kim, K.J., and Choi, J.G., Constructing Korea's sustainable air & space power, *Oreum*, 2014, Vol.13, pp.99-122.
- [14] Park, J.G., A Study on the decision of aircraft demand for air to surface mission[master's thesis]. [Nonsan, Korea]: Korea National Defense University, 2012.
- [15] Republic of Korea Airforce Headquarter, Air transportation, ROK armed forces' print depot, 2023.
- [16] Republic of Korea Joint Chiefs of Staff, Joint transportation support, ROK armed forces' print depot, 2023.
- [17] Republic of Korea Ministry of Foreign Affairs, <https://www.mofa.go.kr/www/index.do>.
- [18] Republic of Korea Ministry of National Defense, 2022 White paper, ROK armed forces' print depot, 2023.
- [19] United Nations Development Programme, <https://www.undp.org>.
- [20] WDMMA, <https://www.wdmma.org>.
- [21] Wikipedia, Developed country, <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%84%A0%EC%A7%84%EA%B5%AD>.
- [22] World Bank databank, <https://databank.worldbank.org>.

〈부 록〉

〈Table A1〉 The Specification of National Power Data Set

Source		World bank	FAO 2020	MB 2023	MB 2023	MB 2023	MB 2023	MB 2023	MB 2023	World bank	World bank	UN HDR
Reference year		2022	2020	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022
Variable		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
		Population	Territory Area	Number of forces	Defense spending	Defense spending per capita	Defense spending / GDP	GDP	GDP per capita	GNI	GNI per capita	HDI
Unit		number	1000ha	1,000	million \$	\$	%	billion \$	\$	billion \$	\$	index
Algeria	DZA	44,903,225	2,381,741	476	8,495	202	4.78	187	4,151	163.9	3,660	0.745
Angola	AGO	35,588,987	1,246,700	117	1,760	51	1.41	125	3,791	66.8	1,770	0.586
Armenia	ARM	2,780,469	29,740	257	749	250	4.23	17.7	5,972	13.5	4,560	0.759
Australia	AUS	25,978,935	7,741,220	90	33,841	1,295	1.96	1720	66,408	1,528.2	56,760	0.951
Azerbaijan	AZE	10,175,016	86,600	379	2,641	255	3.77	70.1	6,842	53.3	4,880	0.745
Belarus	BLR	9,208,701	207,610	448	818	87	1.03	79.7	8,567	65.6	6,950	0.808
Belgium	BEL	11,669,446	30,530	29	5,663	478	0.96	590	50,598	605.2	50,510	0.937
Brazil	BRA	215,313,498	8,515,770	2102	22,951	106	1.21	1890	8,857	1,558.5	7,720	0.754
Canada	CAN	38,929,902	9,879,750	106	24,617	644	1.12	2200	56,794	1,975.7	48,310	0.936
China	CHN	1,412,175,000	9,600,013	3045	242,409	171	1.20	20300	14,340	17,576.6	11,890	0.768
Egypt	EGY	110990103	1001450	1315	5,211	48	1.39	469	4,504	391.7	3,510	0.731
France	FRA	67,935,660	549,087	345	54,417	797	1.96	2780	42,330	3,002.3	43,880	0.903
Germany	DEU	84,079,811	357,590	216	53,371	633	1.32	4030	48,398	4,350.7	51,040	0.942
India	IND	1,417,173,173	3,287,260	4231	66,645	48	1.92	3470	2,466	3,124.0	2,170	0.633
Indonesia	IDN	275,501,339	1,916,907	1076	9,059	33	0.70	1290	4,691	1,154.5	4,140	0.705
Iran	IRN	88550570	1745150	1000	44,011	507	2.23	1970	23,034	**231.0	**3,370	0.774
Israel	ISR	9,550,600	22,070	643	19,350	2,171	4.30	527	55,359	485.3	49,560	0.919
Italy	ITA	58,856,847	302,068	355	31,120	509	1.56	2000	33,740	2,125.1	35,710	0.895
Japan	JPN	125,124,989	377,974	317	48,079	387	1.12	4300	34,358	5,124.6	42,620	0.925
Korea	KOR	51628117	100410	3669	42,991	829	2.48	1730	33,592	1,830.4	34,980	0.925
Kuwait	KWT	4,268,873	17,820	49	9,172	2,989	5.00	184	38,123	*154.5	*36,200	0.831
Luxembourg	LUX	650,774	259	1	444	683	0.54	82.2	127,673	56.6	91,200	0.930
Malaysia	MYS	33,938,221	330,241	188	4,148	122	0.96	434	13,108	361.6	10,930	0.803
Pakistan	PAK	235,824,862	796,100	943	9,768	40	2.59	376	1,658	341.7	1,500	0.544
Poland	POL	37,561,599	312,710	128	13,396	352	1.87	716	19,023	644.0	16,670	0.876
Qatar	QAT	2,695,122	11,490	22	8,419	3,357	3.80	221	82,887	176.8	57,120	0.855
Russia	RUS	143555736	17098250	3249	66,857	471	3.13	2130	14,665	1,732.5	11,600	0.822
Saudi Arabia	SAU	36,408,820	2,149,690	282	45,600	1,290	4.51	1010	27,941	*717.2	*22,270	0.875
Spain	ESP	47,615,034	505,970	215	14,669	311	1.06	1390	29,198	1,432.6	29,740	0.905
Turkey	TUR	85341241	785350	891	6,188	75	0.73	853	9,961	803.2	9,830	0.838
Ukraine	UKR	38,000,000	603,550	1338	***4,269	***98	***2.42	***200	4,862	195.0	4,120	0.773
United Arab Emirates	ARE	9,441,129	98,648	63	20,356	2,053	4.04	504	47,793	*358.4	*39,410	0.911
United Kingdom	GBR	66,971,411	243,610	222	70,029	1,033	2.19	3200	47,318	3,170.2	45,380	0.929
United States	USA	333,287,557	9,831,510	2177	766,606	2,272	3.06	25000	75,180	23,393.1	70,430	0.921

***2019 / ***2020 / ***2021

ORCID

Hee Soo Kim | <https://orcid.org/0009-0003-5568-5393>
 Moon Gul Lee | <https://orcid.org/0000-0001-6934-1549>

Ho Seok Moon | <https://orcid.org/0000-0003-4697-0750>
 Seong In Hwang | <https://orcid.org/0000-0002-4425-397X>