

An Optimal Matching Model for Allocating Fighter-Aircraft and Air-operation Base

Sung-Kwang Jang · Moon-Gul Lee[†]

The Department of Defense Management, Korea National Defense University

항공작전 효과를 고려한 전투기와 비행기지 할당 최적화 모형

장성광 · 이문걸[†]

국방대학교 국방과학학과

Airpower is a crucial force for suppressing military threats and achieving victory in wars. This study evaluates newly introduced fighter forces, considering factors such as fighter performance and power index, operational environment, capacity of each airbase, survivability, and force sustainment capability to determine the optimal deployment plan that maximizes operational effectiveness and efficiency. Research methods include optimization techniques such as MIP(mixed integer programming), allocation problems, and experimental design. This optimal allocation mathematical model is constructed based on various constraints such as survivability, mission criticality, and aircraft's performance data. The scope of the study focuses the fighter force and their operational radius is limited to major Air Force and joint operations, such as air interdiction, defensive counter-air operations, close air support, maritime operations and so on. This study aims to maximize the operational efficiency and effectiveness of fighter aircraft operations. The results of proposed model through experiments showed that it was for superior to the existing deployment plan in terms of operation and sustainment aspects when considering both wartime and peacetime.

Keywords : Optimization, MIP(Mixed Integer Programming), Optimal allocation, Survivalbility, Maximize, Operational Efficiency and Effectiveness, Fighter

1. 서 론

항공전력은 전통적인 군사위협과 적의 도발을 억제하고, 전쟁승리를 주도하는 결정적 수단이다. 그 중 전투기 전력은 공대공 교전 및 공중 무장투하, 전자전임무 등 다양하고 비중있는 임무 수행을 통해 공중우세를 달성하면서 공세적인 전력 운용과 효과 중심의 동시·통합 작전 수행으로 적의 위협과 의지를 무력화시킨다. 적의 전략적, 작전적 중심의 주요 표적을 공격하는 전략 공격,

적의 군사적 행동 억제 및 아군의 효과적인 통합작전 수행을 위해 적 전력의 주요 시설 및 자원 등을 공격하여 증원·재보급·기동성을 제한하는 항공 차단작전, 육군과 해군의 합동작전 지원을 위한 근접 항공지원작전 및 대해상작전등 전 영역에 걸쳐 임무를 수행한다[1].

우리 군의 전투기 전력은 전·평시 한반도 작전환경 변화와 기종의 능력에 따라 전투기들은 주요 지점에 배치되어 운용되고 있으며 도태 및 도태예정에 따라 신기종 도입 및 성능 개량을 계획하고 있다. 그리고 항공작전 임무를 효과적으로 수행하기 위해 전투기의 성능과 작전환경, 군수지원 및 병력 운용, 효율적 업무수행을 위한 단일기지-단일기종배치 등 신기종 도입에 따른 효율적 방안들을 제시할 수 있는 전투기 전력배치는 공군의 전략적 무기체계 운영 측면에

매우 중요한 의사결정 문제이다.

지금까지 전투기 전력과 배치 관련된 연구들은 전투기의 세부 성능, 전투기의 상대적 임무 능력 및 효과도, 전력분산 배치 등 개별적인 요소들에 대한 연구결과에 집중하였으나, 각각의 결과들을 종합적으로 판단한 전체적인 전력배치에 관한 연구는 거의 수행되지 않았다. 전투기 성능과 임무/작전 환경 등 현실적인 제약 조건과 기존 연구들을 통해 제시된 객관적인 자료 등을 바탕으로 작전운영, 임무 성과 및 전·평시 작전 효율성과 효과성을 최대화 할 수 있는 전투기 전력과 비행운영기치 매칭 모형을 제안한다.

2. 기존 연구 고찰 및 연구 범위

각 군에서는 보유하고 있는 전력들을 효율적으로 활용하고자 함정, 미사일, 레이더등과 같은 자산들을 최적화 배치하기 위한 연구는 진행되었으나, 전투기 전력을 효율적으로 배치하기 위한 최적화 연구는 미미하였다.

타 군에서 전력 및 자산배치와 관련된 기존 연구들을 살펴보면 Lee and Lee[13]는 적 공격 시나리오를 기반으로 표적 탐지 레이더 배치를 혼합정수계획법과 할당 문제를 활용하여 모형을 제안하였으며, Jung et al.[7]은 미사일 최적 배치 문제를 확률적 데이터를 기반으로 격추 확률을 최대화할 수 있는 지역 담당 모형을 활용하여 미사일 배치 문제를 연구하였다. Jang et al.[5]은 함정 전력 지수를 고려하여 항모 전투단 최적 배치를 목표계획법과 혼합정수계획법을 제시하였고, Lee and Jung[12]은 공격자와 방어자 입장에서 지역 담당 모형과 신뢰도 모형을 바탕으로 미사일 방어를 위한 KDX 최적 배치 모형을 연구하였다.

전투기 또는 비행기 관련 배치나 전투기의 작전 운영과 능력과 관련한 연구를 살펴보면 Cho et al.[2]는 정수계획법과 목표계획법을 활용하여 공대지 표적군에 기반한 전투기들의 공격 편대군 조합 모형을 연구하였다. 전투기와 해당 전투기가 보유할 수 있는 무장 조합을 바탕으로 효율적인 편대군을 구성하여 공대지 공격 수행을 제시하는 모델이다. 본 연구는 전투기의 고유 능력과 기지 배치를 중심으로 공대공, 공대지 임무 수행을 효율적으로 제시한다는 점에서 차이가 있다. Kim et al.[10]은 수송기의 능력과 도태되는 수송기, 신규 도입이 예상되는 수송기의 능력, 기지의 수용 능력과 전시 항공수송량 등을 바탕으로 수송기 소요 산정을 최적화하는 모형을 연구하였다. 한정된 자원과 수용 가능한 자원들을 바탕으로 최적의 소요를 창출하기 위한 연구를 참고하여 전력이동이 제한되고 수용 능력이 한정적인 비행기지에 전투기의 능력과 작전을 중심으로 배치하는 참고자료가 되었다. Jung[8]은 전투기의 임무 효과도 분석을 위해 생존

성, 임무-위협 분석, 공대지-공대공 무장 연구 및 성능 연구 등을 연구하였으며, Lim and Park[15]은 정태적 전투 효과도 분석기법을 사용하여 전투기 세대를 정량화 연구하기 위해 항공기 성능과 관련된 최대 항속거리, 무장/연료 탑재 능력, 최대속도, 최대상승고도 등을 정량화하는 연속형 변수로 활용하고 레이더/화력통제, 무장, 스텔스, 전자전 장비 등 정성적인 성질을 갖는 항목들을 명목형 변수로 정량화하는 연구를 하였고 Lim et al.[9]은 전투기 전력을 세대별로 구분하여 전투효과지수를 비교 연구하였다.

Dunnigan[3], Kim et al.[9]은 공중 능력과 지상 능력 등을, 작전항공임무 및 기종별 탑재 무장 및 장비등 고려한 기종별 전력 지수를 연구하였다. Park et al.[14], Park et al.[17]은 적의 미사일 위협과 사거리와 관련한 연구를 통해 미사일에 의한 피해 확률 산출과 전력 지수들을 고려하여 전투기 대대의 분산 배치 효과와 사거리에 따른 정확도등을 연구하였으며, 논문의 내용을 참조하여 전투기의 능력과 비행기지의 방호능력, 적 미사일 위협 등을 고려하여 전력 지속능력을 연구하였다. Jo et al.[6]은 스트라이크 패키지(Strike Package) 모델과 현실적·잠재적 위협 수준, 전투기의 성능, 공세적 항공 전력 운용을 바탕으로 적정 전투기 규모를 도출하는 연구를 수행하였다.

본 연구의 범위는 현재 대한민국 공군에서 운용 중이며 운용 예정인 F-15K, K-16, FA-50, KF-21 4개 기종만 고려하였으며 도태 및 도태 예정인 F-4, F-5 전투기와 F-35A 전투기와 기본, 입문, 고등비행 교육과정에서 운용 중인 훈련기 및 수송기 전력은 제외하였다. 그리고 다양한 항공작전이 존재하지만 작전환경과 전·평시 주요 임무와 전투기 주요 임무 등을 고려하여 항공 차단작전(Air Interdiction; AI), 방어 제공작전(Defensive Counter-Air; DCA), 근접 항공지원작전(Close Air Support; CAS), 대해상작전(Surface Combat Patrol; SCP), 국지도발/영공침범대응작전(Local provocation/KADIZ defence counter operations; KADIZ) 5개의 작전으로 제한하였다[18].

3. 전투기 도입과 전력 배치 연구 필요성

전투기는 기체 성능 및 특징에 따라 세대별로 1세대부터 5세대까지 분류되며 우리나라 공군은 북한 및 주요 전투기들의 성능과 작전수행 능력 등을 판단하여 High급, Medium급, Low급 전투기로 구분하여 운용되고 있다. Low급 전투기는 전술적 임무를 주로 수행하는 전투기로 작전수행 능력은 일부 제한되나 저성능 전투기 위협에 대응 가능한 전투기이며 Medium급 전투기는 작전적 수준의 임무를 수행하며 High급 전투기보다는 일부 제한된 성능

이나 전반적인 항공작전 수행이 가능한 전투기이다. High급 전투기는 전략적 수준의 임무를 주로 수행하며 최고성능을 보유하며 모든 항공작전을 효과적으로 수행 가능한 전투기이다[1].

전투기 전력의 도태 및 도태예정과 신기종 도입과 관련한 내용을 간략히 살펴보면 XXXX년도에는 F-4전투기, XXXX년도에는 F-5, 전투기가 순차적으로 도태되고 XXXX년에는 우리 기술로 제작된 국산 최초의 전투기인 KF-21이 신규도입되어 배치될 예정이다. 또한 전투력 증가를 위해 현존하는 F-15K, F-16, FA-50 전투기 또한 성능개량사업을 추진하고 있다. 과거 전투기 도입과 비행기지 배치를 사례를 볼 때 고가치, 고성능 항공기는 후방지역에 위치하고 이보다 성능이 낮은 전투기는 전방지역 비행기지로 배치하는 경향을 고려했을 때 4세대 및 Medium과 High급의 중간 정도의 전투능력을 가지는 KF-21 전투기 도입에 따라 기지 배치 문제를 고려되어야 한다.

XX-XX 전력운영계획을 바탕으로 한 전투기 전력 배치 계획은 서두에 언급한 바와 같이 전투기의 성능과 작전 환경 변화 등을 반영하여 기존의 전력배치 계획을 검토할 필요가 있다고 판단된다. 객관적인 관점에서 살펴볼 때 적 위협과 근접하고 있고 적 미사일의 경우 직접적인 사거리가 가까울수록 정확도가 증가되어 피해확률은 증가된다. 이러한 위협이 존재하는 가운데 항속거리, 무장탑재능력 등 전투기의 기본 성능이 우수하고 상대적으로 고가치자산으로 분류되는 전투기 전력들이 전방에 배치될 경우 위협 발생 시 상대적인 전력손실은 커지게 된다. 또한 후방지역에 배치되어 있는 운영 중인 Low급 전투기를 전방지역으로 배치하고 Medium급 이상 전투기를 후방에 배치 할 경우 전자의 경우는 항속거리 및 무장탑재능력이 제한되어 특정 임무에 투입이 불가능한 상황을 해결할 수 있고 후자의 경우는 전력손실 감소 및 다양한 임무에 투입 될 수 있다.

또한 한반도는 북한의 위협뿐만 아니라 주변국의 군사적 위협이 존재한다. 현재의 전투기 배치계획은 북한의 위협에 대응하기에는 일부 문제점을 제외하고는 작전 영향에 큰 저해요소가 없을 것으로 보이지만 주변국으로 위협범위를 확대한 작전환경을 고려한다면 다양한 군사적 상황을 보다 효과적이고 효율적으로 신속하게 대응하기 위해서는 전투기 전력 배치 문제에 관련한 연구는 반드시 필요한 부분이다.

다시 말해 전투기의 능력과 작전의 특징, 기지의 위치, 주기장의 수용 능력 등의 종합적인 요소들을 고려하여 제안한 본 연구의 최적화 모형을 통해 전투기 전력을 재배치한다면 자원의 효율적인 활용과 전/평시 작전효과를 극대화하며 정책적, 전략적 의사결정에 기여할 수 있을 것이다.

4. 전투기 전력 배치 최적화 모형 구성

4.1 문제정의 및 가정사항

본 연구는 XXXX년도까지 전투기 신기종의 순차적인 도입 계획에 따라 전투기 전력을 전·평시 작전환경과 전투기의 기본적인 성능 및 전투기별 전력지수와 기지별 전투력 지속 가능성을 고려하여 기종별/기지별 최적 배치 방안을 제시하는 것이다.

모형의 입력데이터는 전시 작전상황들을 고려한 기종별 전투행동반경, 임무별 종합지수, 기지별 전투력 지속 가능성과 신규 도입이 완료된 시점에서의 기종별 대대수와 전력지수, 비행기지별 수요 가능한 비행대대수, 비행기지에 전투기 배치 시 내륙을 제외한 기지별 전투 행동반경 등이 있다. 출력데이터는 기종별 비행기지 배치에 따른 임무할당, 작전효과 등을 포함한다.

군사자료 특성상 보안적인 문제로 공개 할 수 없는 데이터는 대체 용어 사용 및 공란으로 설정하거나 상대적인 값과 임의값으로 설정하였으며, 본 모형의 가정사항은 다음과 같다.

- 1) 모든 작전지역에 기종 할당이 이루어져야 한다.
- 2) 단일기지-단일기종 배치를 원칙으로 한다.
- 3) 전투기 기종별 전력지수는 상대적인 차이가 존재하며 기존연구에 명시되지 않는 기종은 전투기 성능 및 연료탑재량 등을 고려하여 설정한다.
- 4) 기지별 전투력 지속능력은 기지방호능력, 지리적 위치, 인구밀집도, 적 위협 가능성 등을 고려하여 작전환경에 따라 상대적 값으로 설정한다.
- 5) 작전임무지역은 전시 임무 비중 및 할당소요를 고려하여 대표적인 지역을 임의로 설정한다.
- 6) 임무지역별로 종합지수는 작전 지휘방침, 적 위협 수준, 임무난이도등을 고려하여 상대적인 값으로 설정한다.
- 7) 비행기지별 수용한 대대수는 단수/복수 활주로 조건과 민간공항 공동사용, 특정기종 주둔배치 여부에 따라 단수는 2~3개 대대, 복수활주로는 3~4개로 설정한다.

4.2 모형구성 및 설명

전투기의 기본 성능 및 작전환경을 고려한 기종별 전투행동반경은 항공우주무기편람[1]을 바탕으로 전시 입·출항 경로, 임무지역에서의 대기시간, 공대공/공대지 위협회피 기동시간, 무장장착을 고려한 연료탑재량, 최소 기지귀환 연료 등을 고려하여 <Table 1>와 같이 설정하였으며 가장 큰 값을 기준으로 정규화하였다.

<Table 1> The Basic Performance of Each Fighter-Aircraft

Type	F-15K	(K)F-16	KF-21	FA-50
Max.Trust (LBF)	59,176	29,588	43,000	17,700
Max.Take Off Weight(KG)	36,742	19,742	25,580	9,053
Max.Weapon Payload(kg)	10,500	6,895	7,700	4,763
Max.Crusing Range(km)	5,741 with CFTs	3,889 with 3xTanks	2,900 only internal	2,598 with 3xTanks
Combat Distance(km)	X,XXX	X,XXX	X,XXX	X,XXX
↓ normalize				
Combat Distance(km)	1	0.3775	0.6820	0.1887

전투기 전력의 상대적인 비교를 위한 전투기 전력지수 <Table 2>는 Dunnigan[3], Kim et al.[9], Lim and Park[15]의 연구결과와 최신 자료들을 바탕으로 전투기의 공중능력(Air to Air)과 공대지/공대해(Air to Ground) 능력 등은 상대적평가를 통해 설정하였다.

<Table 2> The Fighter-Aircraft Power Index [3, 9, 15]

Type	F-15K	(K)F-16	KF-21	FA-50
Air to Air	54	32	43	14
Air to Ground	70	40	55	16
mean	62	36	49	15
↓ normalize				
normalize mean	1	0.58	0.79	0.24

모형에 필요한 전투기 대대수는 전력도입이 완료된 XXXX년도 기준으로 <Table 3>과 같으며, 도태예정인 F-5 전투기와 F-35 전투기는 제외하였다.

<Table 3> The Number of Squadron of Each Aircraft

Type	F-15K	(K)F-16	KF-21	FA-50
Number of Squadron	XX	XX	XX	XX

비행기지별 전투력 지속 가능성을 평가하기 위해 Park and Ha[16]의 적 미사일 위협으로 인한 비행장 피해확률 산출결과와 내륙/해안/인구밀집 정도를 고려한 지리적 위치, 적 특작군 침투 가능성 등을 고려하여 위협이 없는 상태에서의 기지 전투력 지속가능성을 '1'로 가정하였을 때 각 기지별 상대적 값을 <Table 4>으로 설정하였으며, 비행기지 1/2/3는 전방기지, 비행기지 4/5/6/7은 중

부기지, 비행기지 8은 후방기지로 분류하였다.

<Table 4> The Protective Probability for each Base

Foward			Rear
Base 1	Base 2	Base 3	Base 8
0.65	0.7	0.67	0.9
Central			
Base 4	Base 5	Base 6	Base 7
0.75	0.8	0.8	0.85

본 연구에서는 공군의 다양한 작전 중 전·평시 작전과 연합·합동 중심의 대표적인 작전을 선정하여 실험하였으며 할당 된 임무수는 전시 작전소요량비율을 적용하였고 할당이 많은 특정임무의 경우 조금 더 세부화하여 실험하였으며 <Table 5>와 같다.

<Table 5> The Number of Mission Types

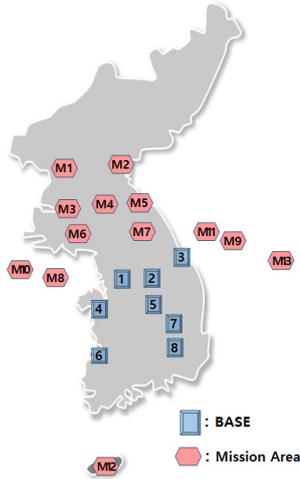
AI-1	AI-2	CAS	DCA	SCP	KADIZ
4	7	3	3	2	2

그리고 전투기가 투입 될 임무종류의 가치를 판단하기 위해 임무난이도(Difficulty level : 공대공/공대지 복합 임무여부, 시간적/공간적 제약, 전시 할당량등), 임무지역 내에 공대공(A/A)/지대공(A/G)/함대공(S/A) 위협 정도 및 조우가능성, 임무별 전투기 전력 편대군 규모(Package), 기타 임무지역별/상황별 위협도(Threat level)를 상대적으로 평가한 데이터를 <Table 6>으로 설정하였으며 가장 큰 값을 기준으로 정규화하였다.

<Table 6> The Evaluated Index for Mission in Operation Area

	Difficulty level	A/A	G/A	S/A	Package	Threat level	Total (normalize)
m1	10	10	10	5	10	5	1
m2	9	9	9	5	9	4	0.90
m3	10	9	10	3	9	5	0.92
m4	9	9	9	3	8	5	0.86
m5	9	8	9	4	8	3	0.82
m6	6	7	9	5	4	3	0.68
m7	6	6	8	5	4	2	0.62
m8	8	8	6	6	8	3	0.78
m9	8	8	5	6	7	2	0.72
m10	6	4	4	7	4	3	0.56
m11	5	4	4	6	4	2	0.50
m12	5	7	1	3	4	1	0.42
m13	5	7	1	3	4	1	0.42

실험에 사용된 대표적인 임무 5개, 전시 표적군을 대표하는 지역은 총 13개를 선정하여 임무지역으로 나타냈으며 비행기지는 특정기종이 배치된 00기지과 훈련비행단, 수송기전력비행단을 제외하였고 배치분포는 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Base and Mission Location

<Table 7> The Operational Range when Aircraft Deployed on Each Base

		F-15K	(K)F-16	KF-21	FA-50
Base 1	North	1,537	515	1,015	205
	East	1,437	415	915	105
	West	1,588	566	1,066	256
	South	1,325	303	803	7
Base 2	North	1,550	528	1,028	218
	East	1,531	509	1,009	199
	West	1,522	500	1,000	190
	South	1,336	314	814	4
⋮					
Base 8	North	1,342	320	820	10
	East	1,557	535	1035	225
	West	1,441	419	919	109
	South	1,507	485	985	175
↓ normalize					
		F-15K	(K)F-16	KF-21	FA-50
Base 1	North	0.94	0.31	0.62	0.12
	East	0.88	0.25	0.56	0.06
	West	0.97	0.34	0.65	0.16
	South	0.81	0.18	0.49	0.00
Base 2	North	0.94	0.32	0.63	0.13
	East	0.93	0.31	0.61	0.12
	West	0.93	0.30	0.61	0.12
	South	0.81	0.19	0.50	0.00
⋮					
Base 8	North	0.82	0.19	0.50	0.01
	East	0.95	0.33	0.63	0.14
	West	0.88	0.26	0.56	0.07
	South	0.92	0.30	0.60	0.11

비행기지별 여유 작전 거리는 배치된 전투기의 작전 행동반경을 기본값으로 하여 내륙부분을 제외하고 동/서/남쪽은 해안가로부터 북쪽은 군사분계선 기준으로 설정하여 {기종별 전투행동반경 - 기지별 내륙/군사 분계선 거리}를 적용한 값은 <Table 7>과 같으며 전투행동반경이 가장 큰 값을 기준으로 정규화하였다.

4.3 최적화 수리모형

4.3.1 인덱스(Indices) 및 집합(Sets)

$i \in I$: 비행기지 집합

$$I = \{\text{Base 1, Base 2, Base 3} \dots, \text{Base 8}\}$$

$j \in J$: 전투기 집합

$$J = \{\text{F-15K, (K)F-16, KF-21, FA-50}\}$$

$$J_H = \{\text{F-15K}\},$$

$$J_M = \{(K)F-16, KF-21\},$$

$$J_L = \{\text{FA-50}\},$$

$m \in M$: 작전 임무지역 집합

$$M = \{m1, m2, m3, \dots, m13\}$$

$$AL1_m = \{m1, m2\}$$

$$AL2_m = \{m3, m4, m5\}$$

$$CAS_m = \{m6, m7\}$$

$$DCA_m = \{m8, m9\}$$

$$SCP_m = \{m10, m11\}$$

$$KADIZ_m = \{m12, m13\}$$

$l \in L$: 주기장 집합

$$L = \{L1, L2, L3, L4, \dots, L24\}$$

$P(i, l)$: 비행기지 i 의 주기장 l 의 쌍(Pair) 집합

$$\{(\text{Base 1, L1}), (\text{Base 1, L2}), (\text{Base 2, L3}), \dots, \dots, (\text{Base 7, L22}), (\text{Base 7, L23}), (\text{Base 8, L24})\}$$

4.3.2 매개변수(Parameters)

$ac_combat_dist_j$: 전투기 j 의 작전반경

$no_base_park_i$: 비행기지 i 의 가용 주기장수

$no_fighter_sqn_j$: 전투기 j 의 대대수

$no_mission_sqn_m$: 임무지역 m 별 전투투사에 요구되는 비행대대 규모(수)

msn_value_m : 임무지역 m 의 중요도(가치)

ac_pwr_index _j	: 전투기 기종 j별 전력지수
ac_pwr_ratio _j	: 전투기 기종 j별 전력지수(비율)
base_def_ability _i	: 비행기지 i의 방호력
msn_adapt_ratio _{jm}	: 기종 j가 임무지역 m에 작전 수 행 시 적합도(비율)
oper_range_north _{ij}	: 비행기지 i에 전투기 j 배치 시 여유 작전거리(북쪽)
oper_range_east _{ij}	: 비행기지 i에 전투기 j 배치 시 여유 작전거리(동쪽)
oper_range_west _{ij}	: 비행기지 i에 전투기 j 배치 시 여유 작전거리(서쪽)
oper_range_south _{ij}	: 비행기지 i에 전투기 j 배치 시 여유 작전거리(남쪽)
base_msn_dist _{im}	: 기지 i와 임무 m까지 거리(비율)

$$W_{ijl} \leq Y_{ij}, \forall P(i,l), j \quad (4)$$

$$X_{ijlm} \leq Y_{ij}, \forall P(i,l), j, m \quad (5)$$

$$\sum_{P(i,l)} W_{ijl} \leq no_fighter_sqn_j, \forall j \quad (6)$$

$$\sum_{l \in L_i} W_{ijl} \leq no_base_park_i, \forall i, j \quad (7)$$

$$\sum_{P(i,l)} \sum_j X_{ijlm} = no_msn_rq_sqn_m, \forall m \quad (8)$$

$$\sum_j Y_{ij} \leq 1, \forall j \quad (9)$$

$$\sum_m X_{ijlm} \leq 1, \forall P(i,l), j \quad (10)$$

$$\sum_{P(i,l)} \sum_{CAS_m} X_{ijlm} \geq 1, \forall j \in J_L \quad (11)$$

$$\sum_{P(i,l)} \sum_{DCA_m} X_{ijlm} \geq 1, \forall j \in J_L \quad (12)$$

$$\sum_{P(i,l)} \sum_{AL1_m} X_{ijlm} \geq 1, \forall j \in J_H \cup J_L \quad (13)$$

$$\sum_{P(i,l)} \sum_{AL2_m} X_{ijlm} \geq 1, \forall j \quad (14)$$

4.3.3 결정변수(Decision variable)

X_{ijlm}	: i비행기지 l주기장에 j전투기가 배치되어 m임무에 할당되면 1 / : 0, otherwise
Y_{ij}	: i비행기지에 j전투기가 할당되면 1 / : 0, otherwise
W_{ijl}	: i 비행기지에 j 전투기가 l 주기장에 할당되면 1 / : 0, otherwise

4.3.4 목적함수 및 제약식

• Objective funtion

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_i \sum_j oper_range_north_{ij} \times Y_{ij} \\ & + \sum_i \sum_j oper_range_east_{ij} \times Y_{ij} \\ & + \sum_i \sum_j oper_range_west_{ij} \times Y_{ij} \\ & + \sum_i \sum_j oper_range_south_{ij} \times Y_{ij} \\ & + \sum_{P(i,l)} \sum_j \sum_m base_def_ability_i \times X_{ijlm} \\ & + \sum_{P(i,l)} \sum_j \sum_m msn_adapt_ratio_{jm} \times X_{ijlm} \end{aligned} \quad (1)$$

• Subject to.

$$base_msn_dist_{im} \times X_{ijlm} \leq ac_combat_dist_j \times Y_{ij}, \forall P(i,l), j, m \quad (2)$$

$$X_{ijlm} \leq W_{ijl}, \forall P(i,l), j, m \quad (3)$$

목적식(1)은 전투기가 각 기지별로 배치되었을 때 기지별 작전여유 영역과 기종별 전력지수를 고려하여 전력 지속능력, 전·평시 기종별 할당 임무 종류와 비중, 전투기별 임무적합도에 따른 가치를 최대화하는 것이다. 항공 전력은 원거리, 신속성, 정확성, 대량 파괴력을 가지고 있는 장점도 있지만, 타군 전력과 달리 고정된 기지 중심으로 작전을 수행하며 대규모 전력구조 특성상 기지 이동이 제한적이고 적 위협에 대비한 기지 전력 지속능력 및 방호력이 매우 중요하다. 이러한 개념들을 바탕으로 기지별 작전영역과 전력지속 능력, 기종별 효율적, 효과적인 임무수행을 최대화하는 것이 목적이다.

제약식(2)은 비행기지별로 배치된 전투기의 작전반경을 고려하여 전투기의 거리능력을 초과하는 임무지역에 대해서는 투입하지 않도록 하는 제약식이며, 원활한 임무수행과 기지 귀환의 안정성을 보장 할 수 있으며 전투기 생존성을 확보 할 수 있다. 본 연구에서는 각 비행기지에서 임무지역으로 이동하기 위해 설정된 전시 입·출항 경로 및 각 임무지역별 지정된 체공지역을 제외하고 연구목적상 임무지역과 비행기지까지의 직선거리만 적용하였다.

제약식(3)은 전투기가 특정 주기장에서 특정임무에 할당되기 위해서는 해당 전투기가 그 주기장에 반드시 배치되어 있어야하는 조건을 충족하기 위한 제약식이다.

제약식(4)는 전투기가 주기장에 주기되어 운용될 때 해당 전투기는 비행단 내에 할당된 주기장에서만 운용되어야 하는 제약식이다.

제약식 (5)는 전투기가 특정임무를 수행하기 위해서는 비행단 주기장에 반드시 배치가 되어야하는 조건을 충족하기 위한 제약식이다.

제약식 (3), (4), (5)는 상호 연관성 및 종속적인 관계에 있으며 비행기지 내 전투기별 주기장 사용과 임무 할당 사이를 상호 직접적인 연결들을 하는 제약식들이다.

제약식 (6)은 비행기지별 주기장에 배치된 전투기의 대대수가 각 기종별 전력화된 전투기별 대대수를 초과하지 않도록 한다.

제약식 (7)은 각 비행기지별로 전투기를 주기장에 배치 할 때 각 비행기지별 제한된 주기장수를 초과하지 않도록 하고 제약식 (8)은 비행기지별 주기장에 임무별로 할당 된 전투기의 총 대대수는 임무지역별로 요구되는 전투기의 대대수와 일치하기 위한 제약식이다. 이는 각 임무별로 작전을 수행하기 위해 투입 되어지는 전투기의 누락을 방지하고 특정임무의 쏠림 방지와 각 임무별로 최적의 대대 배치를 구현하기 위한 제약식이다.

제약식 (9)는 비행기지에 단일 전투기 기종을 배치하기 위한 위함이며 복수의 기종 배치를 제한하고 기종 운용, 정비문제, 인력운용 효율성을 고려한 단일기지-단일기종 배치를 충족시키기 위함이다.

제약식 (10)은 비행기지 주기장에 배치된 전투기가 단일 임무를 수행하기 위한 조건을 만족시키기 위함이다. 전투기 임무수행 능력은 특정 상황을 제외하고 한 가지 임무로 제한되어 있지 않으나 연구 목적상 임무의 가중치를 판단하고 특정임무의 편중을 방지하기 위해 설정하였다.

제약식 (11), (12)는 Low급 전투기, 제약식 (13), (14)는 모든 전투기에 대해 전시 임무배정 비율과 전투기 성능 및 무장탑재능력 및 보호장비 능력 등을 고려했을 때 특정임무에 최소 1개 이상의 대대를 투입하고 공격편대군의 구성 조건을 충족하기 위한 제약식이다.

4.4 실험 및 결과 분석

4.4.1 실험시나리오

본 모형은 현행작전, 공군 정책, 운영 비용 등 여러 가지 현실적 문제들을 고려하여 <Table 8>과 같이 2가지 시나리오 상황을 반영하였다.

<Table 8> Type of Scenarios

Scenario1	Consideration whole Bases Relocation
Scenario2	Consideration Partial Bases Relocation Except for Fixed 4 Bases

시나리오1은 한반도에 배치된 비행기지를 전면 재배치 가능한 상황을 가정하였으며, 시나리오2는 기지이전 비용 및 전력운용 계획변경을 최소화하기 위한 방안으로 일부기종은 현재 주둔기지에 위치시키고 신규 도입과 전력이동이 상대적으로 용이한 기종의 재배치 상황을 고려한다.

전투기 전력배치와 관련된 기지별 수용 가능한 주기장수는 현실적인 상황들을 반영한다. 실험결과 비교 분석을 위해 XX-XX 전력배치 기본계획안을 기준으로 한다.

실험은 시나리오 상황과 기지별 수용 가능한 주기장수를 Case별로 구분하여 수행한다. Case 1은 현재 전력배치가 완료된 기준, Case 2는 기지별 확장 가능한 주기장 수용 능력이 고려된 기준, Case 3과 Case 4는 Base 7이 복수활주로 운용 및 유사기종 전력이 이동 가능하다는 결정이 고려된 주기장 수 기준이며 Case별 주기장 조건은 <Table 9>와 같다.

<Table 9> The Number of Squadron Available for Each Base

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Base 1	2	3	2	3
Base 2	2	2	2	2
Base 3	2	3	2	3
Base 4	4	4	4	4
Base 5	4	4	4	4
Base 6	1	1	1	1
Base 7	3	3	4	4
Base 8	3	3	3	3
Total	21	23	22	24

4.4.2 실험결과 분석

수리모형 실험은 GAMS(General Algebraic Modeling System) 최적화 프로그램 30.3 버전을 사용하였으며 Solver(MIP)로 설정하였다. 실험환경은 CPU는 i5-8250U.1.60GHz, RAM은 8GB이다.

(1) 기본계획

기준점되는 XX-XX 기본계획안의 결과값은 Total-Coverage는 22,845.71Km, Mission-Value는 2,309.24, PWR & Defenece는 609.73이며 기지별 기종 배치 및 할당된 임무는 <Table 10>과 같다. 기본계획안은 기종별 특성과 전력지수를 고려하여 임무가 적절히 할당되었으며, 전력지수가 높은 High급기종의 경우 임무중합지수가 높은 항공차단 임무에 주로 투입된다. 중부기지에 위치하고 가장 많은 대대수를 보유한 Medium급 기종은 지리적 위치, 전력지수, 전투행동반경 등이 고려되어 다양한 임무를 수행한다. 한편 전력지

수가 높은 Medium급 기종이 전방기지에 2개 기지에 배치되고 Base 7의 경우 단일기지에 복수의 기종이 배치되어 운용된다. 이 부분을 살펴보면 전시 작전운영 시 전방기지의 피해확률이 높은 점을 고려할 때 전체적인 공군의 전력지속 지수가 낮아질 수 있는 단점이 있으며 동일기지에 연구에 포함되지 않은 준전투기 기종이 운영이 운영되어 인력운용 및 정비지원 측면에서 비효율적일 수 있다는 문제점을 야기할 수 있다.

<Table 10> The Result of 00-00 Basic Plan

Base	Type		Mission	
	Base 1	FA-50	2	m6
Base 2	KF-21	2	m1, m4	AI_1, AI_2
Base 3	KF-21	2	m2, m4	AI_2
Base 4	(K)F-16	4	m5, m7 m8, m12	AI_2, CAS DCA, KADIZ
Base 5	(K)F-16	4	m5, m9 m11, m13	AI_2, DCA SCP, KADIZ
Base 6	(K)F-16	1	m8	DCA
Base 7	KF-21	2	m3	AI_2
	FA-50	1	m11	SCP
Base 8	F-15K	2	m2, m3	AI_2
Total_Coverage			22,845.71 Km	
Mission_Value			2,309.24	
PWR&Defence			609.73	

(2) 시나리오1

시나리오1에 대한 실험결과는 <Table 11>과 같다.

시나리오1 Case 1은 현재 전투기 전력이 배치된 기준으로 신규 기종이 배치되는 경우이며 시나리오1 Case 2는 Base 1, Base 3의 경우 단수 활주로지만 최대 3개 대대까지 수용할 수 있는 조건을 반영한 것이다.

시나리오1 Case 1의 경우 기본계획안 대비 기지별 여유작전영역은 10.82%, 임무종합지수는 10.98%, 전력지속 능력은 6.46%로 증가하였다. 시나리오1 Case 2의 경우 기지별 여유작전영역은 -14.97% 감소하였으나 임무종합지수는 14.49%, 전력지속능력은 7.5%로 시나리오1 Case 1과 비교하여 여유작전영역을 제외하고는 상대적으로 증가한 수치를 보였다.

시나리오1의 경우 전력지수가 큰 기종이 전방기지에 주로 위치하게 되는데 이는 전투 행동반경과 임무별 종합지수를 전력지수 보다 더 최대화하기 때문이다. 또한 Case 1의 경우 전방기지의 수용능력이 2개 대대로 제한되기 때문에 특정기종의 대대수 조건으로 인해 전력지수가 높은 전투기가 전방에 위치하게 되는 것으로 분석된다.

시나리오1 Case 2의 기지별 여유작전영역이 감소한 이유는 Base 6에 전력이 배치되지 않기 때문이며 기본계획안 대비 다른 항목이 증가한 이유는 Medium급 기종이 전방기지와 중부기지에 분배되어 위치하고 다양한 임무를 수행하기 때문으로 분석된다. 결론적으로 시나리오1

<Table 11> The Result of Scenario 1 for each Case

	Case 1				Case 2				Case 3				Case 4			
	Type		Mission		Type		Mission		Type		Mission		Type		Mission	
Base 1	(K)F-16	2	m6	CAS	(K)F-16	3	m9 m11 m12	DCA SCP KADIZ	(K)F-16	2	m7 m8	CAS DCA	KF-21	3	m2 m3	AI_1 AI_2
Base 2	F-15K	2	m1 m3	AI_1 AI_2	(K)F-16	2	m5 m8	AI_2 DCA	F-15K	2	m1 m3	AI_1 AI_2	(K)F-16	1	m11	SCP
Base 3	KF-21	2	m3,4	AI_2	KF-21	3	m2 m3	AI_1 AI_2	KF-21	2	m3	AI_2	KF-21	3	m2 m4	AI_1 AI_2
Base 4	(K)F-16	4	m8,m9 m13	DCA KADIZ	(K)F-16	4	m8,m9 m13	DCA KADIZ	FA-50	3	m6 m10	CAS SCP	FA-50	3	m6 m10	CAS SCP
Base 5	KF-21	4	m2 m3,m4	AI_1 AI_2	FA-50	3	m6 m10	CAS SCP	(K)F-16	4	m5 m12,m13	AI_2 KADIZ	(K)F-16	4	m5 m7 m8,m9	AI_2 CAS DCA
Base 6	F-15K	1	m1	AI_1	Unallocated				F-15K	1	m1	AI_1	Unallocated			
Base 7	FA-50	3	m5 m7 m11	AI_2 CAS SCP	KF-21	3	m3,m4	AI_2	KF-21	4	m2 m4	AI_1 AI_2	(K)F-16	4	m5 m8 m12,m13	AI_2 DCA KADIZ
Base 8	(K)F-16	3	m5 m10 m12	AI_2 SCP KADIZ	F-15K	3	m1 m3	AI_1 AI_2	(K)F-16	3	m8,m9 m11	DCA SCP	F-15K	3	m1 m3	AI_1 AI_2
Obj. Output	Total_Coverage		2,5319.52		Total_Coverage		19,426.52		Total_Coverage		25,319.52		Total_Coverage		19,426.52	
	Mission_Value		2,563		Mission_Value		2,644		Mission_Value		2,644		Mission_Value		2,644	
	PWR&Defence		649.12		PWR&Defence		655.47		PWR&Defence		661.60		PWR&Defence		657.99	

Case 1 & Case 2는 기본계획안 대비 전투행동반경과 임무 적합도는 효과적이거나 전·평시 중요한 부분으로 판단되는 전력지속능력은 상대적으로 비효과적인 것으로 분석된다.

시나리오1 Case 3 & Case 4는 시나리오1 Case 1, Case 2의 제한된 수용능력과 복수기종 운용 등의 단점을 보완하기 위해 수행하였다. 실험결과는 기본계획, 시나리오1의 Case 1과 Case 2 모두와 비교하였을 때 기지별 여유작전영역과 임무종합지수는 Case 3은 10.82%, Case 4는 14.49%로 유사한 증가율을 보이나, 전력지속능력은 Case 3은 8.5%, Case 4는 7.9%로 상대적으로 더 증가한 결과를 보인다.

이는 전력지수가 높은 기종이 전방기지에서 후방기지로 배치되어 운용되는 부분과 많은 대대를 보유한 Medium급 기종이 중부기지 및 대대수용 능력이 증가된 Base 7에 배치되어 운용되는 이유로 분석된다.

(3) 시나리오 2

시나리오2 실험결과는 <Table 12>와 같다.

시나리오2 Case 1 & Case 2는 비행기지 특성상 전력 이동시 시설 재건 및 인력운용에 따른 많은 비용이 필요하다는 한계점이 존재하기 때문에 현재 배치되어 있는 F-15K와 (K)F-16기종을 고정된 상태에서 상대적으로 이

동이 용이한 FA-50과 신규전력배치가 이루어질 KF-21기종 조건만을 고려하여 실험하였다.

시나리오2 Case 3 & Case 4는 전투행동반경과 임무 적합도가 유사하다면 전력 지속능력을 상대적으로 중요한 판단하여 최대화하는 것으로 분석된다.

시나리오2 Case 1 & Case 2는 기지별 여유작전영역과 임무 종합지수의 증가폭은 시나리오1에 비해 약 3% 정도 감소하였으나 전력 지속능력은 약 4% 정도 증가하였다.

시나리오2 Case 1의 경우 시나리오1과 동일하게 전방 기지 주기장 수용능력 제한으로 Medium급 기종이 전방 기지에 분포되는 단점이, Case 2의 경우 Low급 전투기가 전방기지로 배치되어 전력지속능력이 증가되나 Base 2에 전력이 미배치되는 단점이 있다.

시나리오2 Case 3 & Case 4는 시나리오1과 시나리오2 Case 1 & Case 2의 단점을 고려하여 전력지수와 비행기지 활용도를 최대로 고려했을 때의 결과를 확인하기 위한 실험이다. 시나리오2 Case 4의 경우 기본계획 기준대비 기지별 여유작전영역은 14% 감소되었으나 임무 종합지수는 14.49%, 전력지속능력은 16.67%로 상당 부분 증가된 값을 보였으며 이는 Base 7에 KF-21기종이 4개 대대가 배치되고 FA-50기종이 기종에 특화된 임무를 수행함으로써 임무종합지수 및 전력 지속능력이 증가된 것으로 분석된다.

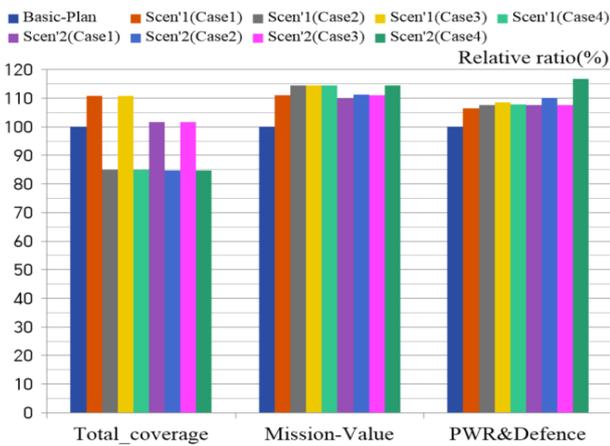
<Table 12> The Result of Scenario 2 for each Case

	Case 1				Case 2				Case 3				Case 4			
	Type		Mission		Type		Mission		Type		Mission		Type		Mission	
Base 1	KF-21	2	m2	AI_1	FA-50	3	m5 m6 m10	AI_2 CAS SCP	KF-21	2	m2	AI_1	FA-50	3	m6 m10	CAS SCP
Base 2	KF-21	2	m4	AI_2	Unallocated				KF-21	2	m3	AI_2	Unallocated			
Base 3	KF-21	2	m3	AI_2	KF-21	3	m2 m3,4	AI_1 AI_2	KF-21	2	m4	AI_2	KF-21	2	m2	AI_2
Base 4	(K)F-16	4	m6 m8 m10	CAS DCA SCP	(K)F-16	4	m5 m8 m11 m13	AI_2 DCA SCP KADIZ	(K)F-16	4	m5 m6 m10	AI_2 CAS SCP	(K)F-16	4	m5 m8,m9 m13	AI_2 DCA KADIZ
Base 5	(K)F-16	4	m5 m9 m12, m13	AI_2 DCA KADIZ	(K)F-16	4	m7 m8, m9 m12	CAS DCA KADIZ	(K)F-16	4	m8, m9 m12	DCA KADIZ	(K)F-16	4	m7 m9 m11 m12	CAS DCA SCP KADIZ
Base 6	(K)F-16	1	m6	CAS	(K)F-16	1	m6	CAS	(K)F-16	1	m13	KADIZ	(K)F-16	1	m5	AI_2
Base 7	FA-50	3	m5 m7 m11	AI_2 CAS SCP	KF-21	3	m2 m3,m4	AI_1 AI_2	FA-50	3	m5 m7 m11	AI_2 CAS SCP	KF-21	4	m3 m4	AI_2 AI_2
Base 8	F-15K	3	m1 m3	AI_1 AI_2	F-15K	3	m1 m3	AI_1 AI_2	F-15K	3	m1 m3	AI_1 AI_2	F-15K	3	m1 m3	AI_1 AI_2
	Total_Coverage		23,226.71		Total_Coverage		19,380.49		Total_Coverage		23,226.71		Total_Coverage		19,380.49	
	Mission_Value		2,563		Mission_Value		2,569		Mission_Value		2,563		Mission_Value		2,644	
	PWR&Defence		655.62		PWR&Defence		672.09		PWR&Defence		655.62		PWR&Defence		680.91	

시나리오2의 경우 기지 전면 재배치에 소모되는 많은 비용과 시간을 최소화 할 수 있는 장점이 있으며 Base 7의 준전투기급 전력을 이동배치 하는 정책적 결정이 기지별 작전영역 감소하지만 임무 종합지수, 전력지속능력의 증가폭을 고려하였을 때 공군 전력을 효율적이고 효과적으로 운용 할 수 있다는 방안이라고 제시해 준다.

4.4.3 실험결과 종합

각 시나리오별 실험과 Case별로 비교 분석한 결과를 <Figure 2>로 도식화하였다. 기지별 작전영역과 임무의 종합지수, 전력지속능력 모두 항공전력을 운용함에 있어 필수적인 요소이며 어느 하나를 포기하기에는 어려운 요소이다. 그리고 추구하고자 목적에 따라 장단점이 존재하여 어느 대안이 최적의 방안이라고 단정할 수 없지만 여러 경우의 수를 반드시 고려하여 최선의 방안을 선택해야 한다.



<Figure 2> Total Experiment and Case Result

비행기지 재배치에는 많은 비용과 시간이 소요되며 항공전력은 비행기지별, 주기장별 수용 가능 능력 차이와 인력운용, 정비운용 문제, 상호교차 운용 및 기종별 전력이동이 쉽지 않은 제한점으로 시나리오1과 시나리오2는 기지배치의 정책적 결정에 있어서 중요한 부분으로 판단된다. 또한 Case별로 비교할 경우 Case 2, 4의 경우 작전영역은 감소하나 Case 1, 3 대비 임무의 효과 및 전력지속능력은 상대적으로 상당부분 증가된다. 전투행동반경, 임무 종합판단, 전력지수들은 기지 배치 결정시 중요도에 따라 상당 부분 고려되어야 하는 요소로 판단되는 바 본 연구에서는 시나리오2 Case 4가 가장 적합한 대안으로 평가된다.

본 연구에서 제시한 적합한 대안이 모든 가정사항과 조건들에 대해 가장 최상의 결과라고는 확신할 수 없지만, 신규전력 도입이 계획되어 있는 가운데 본 연구의 결

과들은 항공전력의 전략적 목표를 고려하고 전·평시 임무와 연합/합동작전의 승패를 좌우할 수 있는 전투기 전력배치의 여러 방안을 나타낼 수 있으며 효과적이며 효율적인 기지배치를 위한 정책적 방안을 제시할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 대한민국의 공군의 현존하는 전투기 전력 및 기존 전투기의 도태예정에 따라 전력증강을 위해 도입되는 신규기종을 배치함에 있어 전투기의 성능과 기종별 공대공/공대지 능력을 포함하는 전력지수, 전·평시 임무의 중요도 및 기종별 임무 적합도, 기지별 여러 요소들을 고려하였으며, 비행기지를 대상으로 항공전력을 전면 재배치하는 현실적인 문제를 다양한 시나리오를 통해 전력 운용의 효율성과 효과성을 고려한 전투기 전력 배치를 최적화하는 여러 방안을 모색하였다.

항공력과 전투기 관련 분야에서 각각의 세부적인 항목들의 대한 연구는 다수 수행되었지만 이를 종합적으로 판단하여 효과적인 운영을 위한 전력배치 연구는 미미하였다. 아마도 전투기전력의 특성상 타군의 전력과 달리 고정된 BASE 기반의 작전수행과 비행기지별 전투기들이 대규모 전력으로 구성되어 있고 인력 및 정비운용 등의 이동이 쉽지 않아 실제 정책 추진은 제한되었을 것으로 판단된다. 하지만 XXXX년부터 배치되는 신규 전력은 향후 한반도 안보환경과 전략적 우위를 위해서라도 기존의 전력배치를 분석하고 보다 나은 방안을 위해서라도 반드시 연구가 필요한 부분이다. 현실적인 여러 제한사항들과 여러 조건별 개선 가능한 상황들을 시나리오별로 실험을 실시하였으나 어느 대안이 100%이상 모든 것을 충족한다고 결론 지을 수 없었다. 우리 군의 전략과 미래의 전장환경, 요소별 중요도를 고려하여 최선의 정책적인 판단을 결정할 수 있도록 여러 대안을 제시할 수밖에 없었다. 본 연구도 여러 보완 과제들이 남아있으며 정책을 판단하고 결정하는 의사

결정권자에게 실질적인 도움을 줄 수 있는 연구로 더 발전해야 할 것이라도 판단된다.

향후 연구 방향으로는 비행대대수로 제한되어 있는 실험조건을 대대별 운용가능한 전투기의 실제 대수와 전시 임무요소를 더 세부화한 비교, 전투기의 탑재무장, 전자전 시스템, 방어능력 시스템을 바탕으로 한 임무별 생존능력, 임무별 가중치 등의 요소를 AHP연구를 통해 중요도를 구체화한다면 객관적인 데이터를 바탕으로 한 비교분석이 가능할 것이다. 또한 다양한 대안별로 항공전력 최대화를 위한 기지 재배치시 투입되는 기지 이전 비용과 항공전력 이동을 최소화하면서 운용되는 비용적 측

면을 고려한 공군력 건설의 효율성과 효과성에 대한 연구도 의미 있을 것으로 사료된다.

마지막으로 연구범위에 포함되어 있지 않은 경공격전 투기, 항공통제기, 공중급유기, 전술수송기, 헬기기종 등을 포함한 전 항공전력을 포함한 작전적 연구, 향후 유무인 복합체계 구현 시의 전력배치, 미래 전장 환경과 주변국 작전환경을 고려한 군사적 상황을 보다 효과적이고 효율적으로 대응하기 위한 항공전력 재배치와 관련되어 본 연구에서 제시한 모형을 확대 적용하여 발전시키길 기대한다.

References

- [1] Air Force Combat Development Center, 2023 Latest Aerospace WeaponsHand book, 2024, pp. 164-256.
- [2] Cho, S.H., Lee, M.G., and Jang, Y.B., Combinatorial Optimization Model of Air Strike Packages Based on Target Groups, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2016, Vol. 42, No. 6, pp. 386-394.
- [3] Dunnigan, J.F., *How to Make War*, 4th ed., New York, Quill, 2003, pp. 172-180, 221-234.
- [4] Hong, S.P., *Management Science*, 2nd ed., Seoul, Yulgok Publishing, 2014.
- [5] Jang, G.W., Lee, M.G., and Kwon, K.D., Optimal Combination Model for Carrier Strike Group Considering the Naval Ship's Power Index, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2023, Vol. 49, No. 1, pp. 1-14.
- [6] Jo, K.H., Choi, J.M., Jung, H.J., and Hong, S.P., The Optimum Size of ROK Air Force Fighters Responding to North Korea's Nuclear and Missile Threats: The Fighter Requirement for an Offensive Air Campaign, *Shinasia*, 2019, Vol. 26, No. 1, pp. 145-159.
- [7] Jung, C.Y., Lee, J.Y., and Lee, S.H., An Optimal Missile Allocation Problem for Maximizing Kill Probability, *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, 2010, Vol. 27, pp. 75-90.
- [8] Jung, K.J., A Study on the Mission Effectiveness Analysis of Light Fighters in Air-To-Air and Air-To-Ground Missions, *Journal of Korean Institute of Military Science and Technology*, 1998, Vol. 1, No. 1, pp. 92-113.
- [9] Kim, H.G., Choi, S.G., Lim, S.M., and Jin, J.I., Air Force Fighter Effectiveness Index Calculation Study, *Proceedings of the 2007 Aerospace Weapon System Development Seminar*, 2007, Air Force Headquarters, pp. 297-313.
- [10] Kim, H.S., Lee, M.G., Moon, H.S., and Hwang, S.I., An Optimization Model for Determining the Number of Military Cargo-plane, *Journal of Korea Society of Industrial and Systems Engineering*, 2023, Vol. 46, No. 4, pp. 166-169.
- [11] Kim, Y.R., *Decision Making Theory*, 2nd ed., Paju, MyungKyungSa, 2020.
- [12] Lee, S.H. and Jung, I.C., Optimal Allocation Model of KDX for Missile Defence, *Journal of The Korea Society For Simulation*, 2006, Vol. 15, No. 4, pp. 71-76.
- [13] Lee, S.R. and Lee, M.G., The Robust Artillery Locating Radar Deployment Model Against Enemy's Attack Scenarios, *Journal of Korea Society of Industrial and Systems Engineering*, 2020, Vol. 43, No. 4, pp. 217-228.
- [14] Lim, S.M., Kim, B.R., and Lee, I.W., A Comparative Study of 4th and 5th Generation Fighter Combat Effectiveness, *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Proceedings of the Conference*, 2007, pp. 430-433.
- [15] Lim, S.M. and Park, J.C., A Study on the Quantitative Method of Static Combat Effectiveness for Jet-Fighter Generation, *Journal of Korean Institute of Military Science and Technology*, 2012, Vol. 15, No. 5, pp. 643-650.
- [16] Park, I.G. and Ha, Y.H., A Study on the Deployment Plan of Fighter Aircraft Considering the Threat of Enemy Missiles, *Journal of The Korea Society For Simulation*, 2020, Vol. 29, No. 4, pp. 47-54.
- [17] Park, J.H., Kim, J.H., Chun, M.G., Lee, J.G., and Yang, I.S., A Study on Estimating Maximum Range Capability and Firing Information Based on Observed Data of Launched Ballistic Missiles, *Journal of Military Operation Research Society of Korea*, 2023, Vol. 49, No. 1, pp. 1-16.
- [18] Republic of Korea Air Force Headquarters, Operations, Doctrine Development Division, 2023, pp. 79-102.

ORCID

Sung Kwang Jang | <https://orcid.org/0009-0005-0411-1749>
 Moon Gul Lee | <https://orcid.org/0000-0002-2302-4705>