

## 한국형 전투기 개발을 위한 전투기 임무격렬도 모델 연구

### Study on the Model of Fighter Aircraft Mission Severity for Development of KF-X

김 석 호\*                      황 영 하\*\*                      신 기 수\*  
Sug-Ho Kim                      Young-Ha Hwang                      Ki-Su Shin

#### Abstract

The aim of this paper is to propose fighter aircraft's mission severity model which can be used as one of key factors for designing a structure and determining design life of KF-X. The mission severity is a quantitative data of flight loads and expressed by  $N_z$ (Vertical Load Factor) exceedances or occurrences. The severities of the flight loads depended on the circumstances of the countries which operate fighter aircraft.

In this paper we have studied on  $N_z$  occurrences/exceedances of ROKAF fighter aircraft to generate mission severity model for the KF-X. The analyses of flight data were accomplished by using the Matlab.

Keywords : 항공기 구조 건전성 프로그램(Aircraft Structure Integrity Program), 수직하중( $N_z$ ), 임무격렬도(Mission Severity),  $N_z$  exceedances/occurrences

#### 1. 서론

현대전은 인명과 경제적인 손실은 최소화하면서 효과는 극대화시킬 수 있는 방향으로 발전하고 있다. 이러한 변화를 반영한 전략적 개념이 '네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare)'과 '효과중심작전(EBO : Effectiveness Based Operation)'이라 할 수 있다.

항공무기체계는 현대전 양상에서 요구하는 전략적 능력을 달성하기 위한 가장 효과적인 무기체계로 인식되고 있다. 이러한 항공무기체계의 전략적인 효과는

1991년 걸프전과 1996년 코소보전 그리고 2003년 이라크전을 통해 더욱 명확하게 증명되어왔다.

그러나, 전략적인 능력과 비례하여 항공무기체계는 획득시 고가(高價)의 무기체계로 분류되며, 운영기간 중 유지비용은 획득비용보다 약 2배 이상 소요되어 운용군에게는 상당한 경제적 부담으로 작용하고 있다.

이러한 배경으로 항공무기체계 획득 후 요구 수명동안 안전하고 경제적으로 운영하기 위해 다양한 수명관리 기법이 개발되어왔다. 미 공군은 MIL-STD-1530계열 제정을 통해 구조수명관리(ASIP : Aircraft Structural Integrity Program) 절차를 수립하였다.

ASIP적용 시 중요한 요소 중의 하나가 '임무격렬도(Mission Severity)'이다. 임무격렬도란 비행 중 항공기 구조물에 작용하는 비행하중(G Force)의 정도를 정량

† 2009년 1월 5일 접수~2009년 2월 27일 게재승인

\* 국방대학교(Korea National Defense University)

\*\* 공군항공기술연구소(Aero-Technology Research Institute)  
책임저자 : 김석호(recce131@hanmail.net)

화한 것이다. 동일한 기종이라 해도 조종사, 임무, 운용환경에 따라 임무격렬도는 다르게 나타난다. 그러므로 최근 한국형 전투기(KF-X)의 개발논의가 진행되는 가운데, 경제적이고 효과적인 전투기의 설계와 개발을 위해서는 한국공군의 운용특성이 반영된 임무격렬도 모델 개발이 필요하다.

본 연구에서는 한국공군의 운영 중인 F-00 전투기의 과거 비행자료를 분석함으로써 정량화된 임무격렬도 모델을 개발하였다. 본 연구를 통해 개발된 임무격렬도 모델은 한국형 전투기 설계단계에서부터 사용군이 필요로 하는 비행운용 조건을 반영하는데 기여할 것으로 판단된다.

## 2. 이론적 배경

본 절에서는 본 연구의 대상인 임무격렬도에 대한 개념을 살펴보고자 한다. 또한, 임무격렬도와 ASIP과의 관계를 알아보기 위해 미공군의 구조 수명관리 절차서인 MIL-STD-1530C의 내용을 소개하고자 한다.

임무격렬도는 항공기에 작용하는 하중, 즉 중력가속도를 이용하여 표현된다. 비행 중 3차원 운동을 하는 항공기에 작용하는 비행하중은 Fig. 1과 같이 항공기 기축선을 중심으로 수직방향으로 작용하는 하중( $N_z$  : +양력, -중력)과 진행방향 전후로 작용하는 하중( $N_y$  : +추력, -항력)으로 구분할 수 있다. 경우에 따라 수직하중은 수평하중보다 수십 배 이상 큰 크기로 항공기 구조에 작용한다. 특히 동체와 날개의 접합부를 포함한 일부 부위는 이러한 수직하중에 매우 취약하여, 항공기 구조수명 관리 절차에 따라 피로취약부위(FCL : Fatigue Critical Location)로 분류하고 주기적으로 검사를 수행한다<sup>11)</sup>.

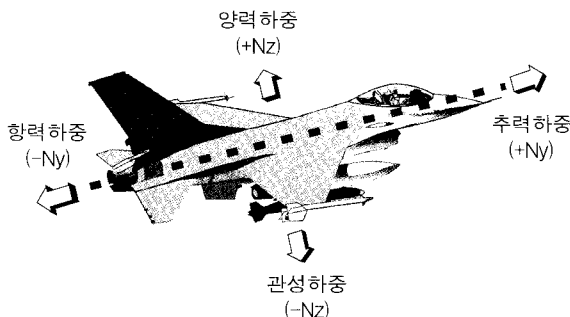


Fig. 1. 항공기에 작용하는 하중 요소

항공기 안전에 많은 영향을 미치는 이러한 수직하중  $N_z$ 의 변화량을 정량적으로 표현하는 방법이 임무격렬도이다. 비행 중 항공기에 작용하는  $N_z$ 의 변화량을 시간흐름에 따라 그래프로 표현하면 Fig. 2와 같이 반복적인 사이클 형태로 나타나게 된다.

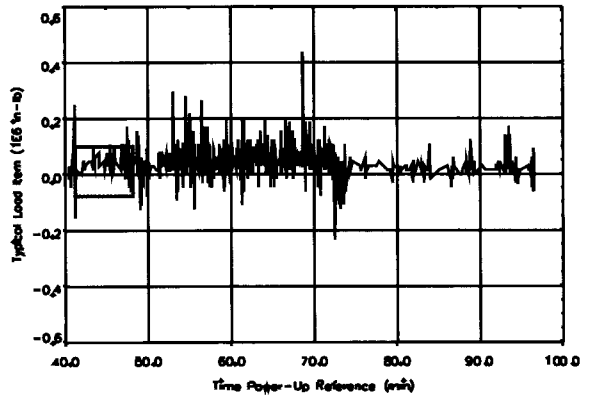


Fig. 2.  $N_z$  Cycle

Fig. 2의  $N_z$  Cycle 일부구간을 확대하여 나타낸 그래프의 형상은 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 하중이 감소 후 증가하는 과정에서 최저점을 'Nz Valley'라고 하며, 반대로 하중이 증가하였다가 감소하는 단계에서의 최고점을 'Nz Peak'라고 부른다.  $N_z$  Valley는 항공기 구조물에 작용한 음하중(- $N_z$ )을 분석하는데 필요하며,  $N_z$  Peak는 양하중(+ $N_z$ )을 분석하는데 사용된다. 임무격렬도를 표현할 때는 이러한  $N_z$  Peak와 Valley의 크기 및 발생 횟수가 사용된다. 일반적으로 실질적으로 항공기 수명에 영향을 미치는 Data 검출을 위해  $N_z$  Peak와 Valley 횟수는  $N_z$  Cycle중에서 최저값과 최고값의 차이가 0.5G 이상인 Peak와 Valley만을 선별하여 사용한다.

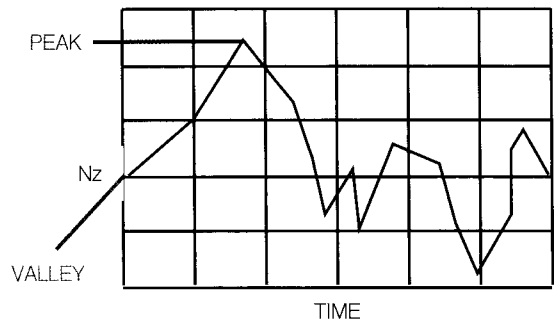


Fig. 3.  $N_z$  Valley/Peak

선별된 Valley와 Peak값들을 이용하여 일정하중범위(F-00 항공기의 경우 -3G~+11G)내에서 각 하중 단위별로 Nz Valley/Peak발생횟수(Occurrences)를 계산하고 발생횟수를 토대로 Valley/Peak 누적 발생횟수(Exceedances)를 산출한다. 임무격렬도는 산출된 Data를 Table과 Graph로 표현한 것을 말한다.

Table 1은 Nz Peak/Valley Occurrences Table의 예를 보여준다. 예로 든 Table에서는 Nz Valley값이 0G~1G 사이였던 경우가 2번 발생하였고, 1G~2G사이가 가장 많은 134번을 기록했다.

Table 1. Nz Peak/Valley Occurrences Table 예

범위(G)	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valley	0	0	0	2	134	42	16	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak	0	0	0	0	0	66	51	27	19	6	0	0	0	0	0

Nz Peak/Valley Exceedances는 각 구간별 Nz Occurrences를 누적합산함으로써 계산된다. 이때, 유의할 것은 Peak와 Valley의 누적합산방향은 서로 반대로 수행되어야 한다는 점이다. Valley Exceedances의 경우 하중범위의 오름차순으로 -3G에서부터 11G까지 발생횟수를 누적 합산한다. 반대로 Peak Exceedances는 내림차순으로 11G에서부터 -3G까지의 발생횟수를 누적 합산한다.

Nz Valley와 Peak의 누적합산방향이 반대인 이유는 Valley와 Peak를 통해 얻을 수 있는 정보가 서로 상반되기 때문이다. Valley를 통해서 항공기에 작용하는 -Nz를 분석하는 것이 목적이며, Peak는 +Nz를 분석하는 것이 목적이다. 그 중에서 각 Nz 작용방향의 최대값을 식별하는 것은 매우 중요하며, 따라서 누적합산방향을 반대로 적용한다. 위의 Occurrences Table을 이용하여 Exceedances Table을 이용하면 Table 2와 같고, 이를 그래프로 표현하면 Fig. 4와 같다.

임무격렬도는 Nz Peak/Valley Exceedances Table 또는 Exceedances 그래프를 이용하여 주로 표현되며, 특히 두 개 이상의 임무격렬도 모델을 비교할 때는 그래프를 이용하는 것이 매우 용이하다.

참고로 Fig. 4에서 예로 든 그래프는 총 Exceedances가 200이하의 작은 값이기 때문에 Exceedances 단위를 '20'단위의 선형(Linear)형태로 표시했다. 하지만 1,000비행시간 이상의 비행자료를 처리하게 되면 Exceedances가 10,000이상의 값이 나오며, 이럴 경우 선형형태의

그래프에서는 항공기 구조에 큰 응력을 발생시키지만 발생횟수가 적은 하중범위(+Nz : 5G 이상, -Nz : -1G)에 대해서는 육안분석이 어렵기 때문에 통상 세로축의 단위는 지수(Log)단위로 표시한다.

Table 2. Nz Peak/Valley Exceedances Table 예

범위(G)	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valley	0	0	0	2	136	176	192	192	192	192	192	192	192	192	192
Peak	195	195	195	195	195	168	102	51	24	5	0	0	0	0	0

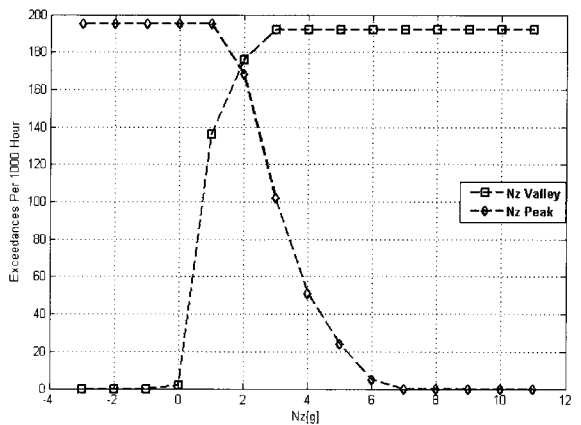


Fig. 4. Nz Valley/Peak Exceedances Graph

지금까지 임무격렬도를 이해하기 위해 비행중 항공기에 작용하는 수직하중 즉 Nz를 어떻게 처리하고 가공하여 임무격렬도로 표현하는지 알아보았다. 다음은 임무격렬도와 ASIP절차와의 관계를 살펴보고자 한다.

개발 및 운용 항공기의 구조 건전성을 보장하기 위해 미 공군에서 제정한 MIL-STD-1530C에 명시된 기능적 절차는 Table 3과 같이 5단계의 과정으로 구분할 수 있다.

1 단계(Task I)는 설계정보 단계(Design Information)로서 ASIP의 목적을 달성하기 위해 제반 설계기준을 설정하는 단계이다. 2단계(Task II)는 설계해석 및 개발시험(Design Analysis and Development Testing) 단계로서 항공기가 운용되어야 할 환경조건을 특성화하고, 재료, 부품(Components), 조립품(Assemblies) 등의 초기 시험 및 항공기 설계 해석 등을 포함하는 단계이다. 3단계(Task III)인 전기체 구조시험(Full-Scale Testing) 단계에서는 비행시험 또는 구조시험을 통하여 설계해석 및 설계의 적합성을 검증하는 활동을 하게 되며, 4단

계(Task IV) 인증 및 군 운용관리방법 개발(Certification and Force Management Development) 단계는 항공기 구조의 감항인증과 직결되는 해석활동과 군 운용(검사, 정비, 개조, 손상평가, 위험분석 등)을 지원하기 위한 절차를 개발하는 단계이다. 끝으로, 5단계(Task V)는 군 운용관리(Force Management Execution) 단계로서, 4 단계에서 개발된 절차에 따라 군(사용부대)에 배치된 개별 항공기들의 구조 건전성을 유지하기 위한 군의 활동들을 명시하고 있다<sup>[2]</sup>.

초자료로 사용하여 차기 항공기에 적용할 새로운 임무격렬도가 개발된다. 군 운용관리 단계(Task V)에서는 개별 항공기들의 비행자료를 수집하고 임무격렬도를 분석함으로써 각 항공기들의 균열성장 양상을 예측하고, 그 결과에 따라 구조정비계획(Force Structural Management Plan) 등을 재수립한다. 한편, 수집된 개별 항공기들의 임무격렬도는 종합되어, 해기종의 기골 보강 작업에 새로운 기준으로 적용되거나 차기 항공기 개발에 필요한 기초자료로 다시 활용된다<sup>[4]</sup>.

Table 3. 항공기 구조 건전성 프로그램의 업무구성<sup>[3]</sup>

구 분	주 요 내 용
설계정보 (Task I)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 항공기 구조 건전성 프로그램 기본계획</li> <li>· 설계운용수명 및 설계운용</li> <li>· 구조설계기준 결정</li> <li>· 내구성 및 손상허용 통제 프로그램</li> <li>· 부식 방지 및 통제 프로그램</li> <li>· 비파괴 검사 프로그램</li> <li>· 재료선정, 공정, 조립방법 및 구조 개념</li> </ul>
설계해석 및 개발 시험 (Task II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 재료 및 결합부의 허용치</li> <li>· 하중해석/설계 운용하중범위</li> <li>· 환경요소(화학적/열 환경) 범위</li> <li>· <b>응력해석/손상허용해석</b></li> <li>· 내구성해석/부식평가/초음속 피로 해석</li> <li>· 공탄성 및 공탄성서보 해석/진동해석</li> <li>· 생존성 해석/설계개발 시험</li> <li>· 비파괴 검사 능력 평가/초기 위험 해석</li> </ul>
전 기체 구조시험 (Task III)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 정강도시험/지상 시험</li> <li>· 비행 시험/내구성 시험/손상허용 시험</li> <li>· 기후 시험/시험결과 분석 및 평가</li> </ul>
인증 및 군 운용관리 방법 개발 (Task IV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 인증결과 해석</li> <li>· 강도 개용 및 운용 제한</li> <li>· 군운용 구조 관리 계획</li> <li>· 하중/환경 범위 조사 개발</li> <li>· 개별 항공기 추적 프로그램 개발</li> </ul>
군 운용관리 (Task V)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개별 항공기 추적 프로그램 실행</li> <li>· 하중/환경 범위 조사</li> <li>· 항공기 구조 정비 기록</li> <li>· 군운용관리 최신화/재인증</li> </ul>

설계해석 및 개발시험 단계(Task II)에서 이루어지는 손상허용해석 과정에서는 이전의 임무격렬도를 기

### 3. 자료 분석 및 처리

본 연구에서는 現 한국 공군의 전투기 임무격렬도 모델을 제시하기 위하여 현재 한국공군의 주력 전투기인 F-00 항공기를 대상으로 임무격렬도를 분석하였다. 분석에 활용된 자료는 대상 항공기에 장착되어있는 비행정보기록장비에 저장된 자료로써, 이 장비는 비행 중 항공기에 장착된 각종 Sensor로부터 측정된 비행 정보들을 기록하는 장치이다.

비행자료는 Text 파일형태로 되어 있으며, 한 개의 파일 안에는 평균 15회 이상의 비행정보가 기록되어 있다. 비행정보는 Fig. 5와 같이 항공기 고도, 속도, 항공기 중량, 수직하중(Nz) 등이 기록된 Time History Data이다. Time History Data는 비행임무를 진행하는 동안 발생하는 비행정보들을 1/1000분 시간단위로 기록한 자료이며, 그 외에도 임무범주(Mission Category)와 임무종류(Mission Type), 임무시간 등을 식별할 수 있다.

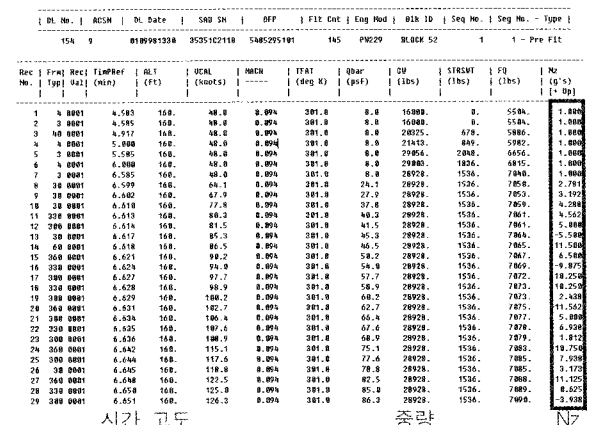


Fig. 5. KF-16 CSFDR Time History Data

임무범주와 임무종류는 Table 4와 같이 분류되는데, F-00항공기의 비행정보기록장비가 구분하는 비행임무범주(Mission Categories)를 보면 크게 A Category, B Category, C Category로 분류된다. 세 가지 임무범주는 다시 Mission Type 1~10까지 10가지 세부 임무종류로 분류된다. 참고로 Mission Type이 '0'이나 '11'로 분류된 비행은 항공기에 전원은 공급되었으나 실제 비행을 실시하지 않았거나, 실시하였다 하더라도 기록장비의 불량으로 임무종류를 분류하지 못한 경우를 의미한다.

Table 4. CSFDR 임무범주와 임무종류<sup>[4]</sup>

Mission Category	ID NO.	Mission Type	비 고
A	1	A - 1	
	2	A - 2	
	3	A - 3	
	4	A - 4	
B	5	B - 1	
	6	B - 2	
C	7	C - 1	
	8	C - 2	
	9	C - 3	
	10	C - 4	
Others	0	Engine Run	지상점검
	11	미식별	장비불량

비행자료의 처리는 Matlab을 이용한 Programing 작업을 통해 수행되었으며, 과정은 다음과 같다.

1단계 : 앞서 언급한 바와 같이 비행정보기록장비로부터 Download된 Text파일 内에는 평균 15회의 비행임무 정보가 기록되어 있다. 따라서 임무범주(A, B, C category) 및 임무종류(MT-1~10)별로 임무격렬도 분석을 위해서는 15회의 각 비행임무에 대해서 Mission Type을 식별하는 절차가 선행되어야 한다. Mission Type이 식별된 후에는 비행정보를 처리한 후 저장시 Type별로 저장하여 Mission Type별, 임무범주별, 마지막으로 종합적인 임무격렬도 산출이 용이하도록 하였다. Mission Type은 Fig. 6과 같이 매 비행임무의 Time

History Data 시작 전 요약정보부분(Time History Recording Sequence Header Record)에서 식별할 수 있다. 그림에서 예로 든 비행정보의 Mission Type은 '1', 즉 'A-1'임무를 의미한다.

3/4 Time History Recording Sequence Header Record:

Flt No.	No. Pre-Fit	No. In-Fit	No. Pst-Fit	No. Segs	Start Rec	No. Recs	MT	Flt Prof	No. MS	Seq Ual
146	1	1	1	3	1	2287	1	226	0	11

Fig. 6. 임무종류 식별 예

2단계 : Time History Data 중 항공기 중량(G/W : Gross Weight)과 Nz정보만을 추출하여 Fig. 7과 같이 임시파일에 별도로 저장하였다.

MISSION TYPE	MISSION TIME
1	36
STEP	G/W[LBS]
480	28482
481	28476
482	28457
483	28438
484	28431
485	28425
486	28419
487	28416
488	28416
489	28416
490	28416

Fig. 7. 2단계 저장결과 예

3단계 : 별도로 저장된 Nz 정보 중 0.5G이상의 차이를 갖는 Nz Valley와 Nz Peak를 식별하고, Fig. 8과 같이 -3G에서 11G까지 각 Nz 단위별로 Valley/Peak Occurrences와 Exceedances를 산출하여 Table로 작성하였다.

MISSION TYPE	MISSION TIME
1	36
Nz Valley Exceedance Table	
<-3.0	<-2.0
<-1.0	< 0.0
< 1.0	< 2.0
< 3.0	< 4.0
0	0
0	0
18	27
34	40
Nz Peak Exceedance Table	
>-INF	>-2.0
>-1.0	> 0.0
> 1.0	> 2.0
> 3.0	> 4.0
47	47
47	47
47	47
48	28
15	

Fig. 8. 3단계 Exceedances Table 작성 예

4단계 : 전체, 임무범주, 임무종류별로 Nz Valley/Peak Occurrences 및 Exceedances를 종합하고, 각각의 Data는 그래프로 표현하였다.

4. 결과 및 분석

비행자료 처리결과 분석을 위해 각 임무범주(Mission Category) 및 임무종류(Mission Type)별로 임무격렬도를 제시하고, 그 차이를 비교분석하였다. 또한 한국형 전투기 임무격렬도 모델로서 F-00 항공기 분석결과를 종합하여 임무격렬도 모델로 제시하였다. 끝으로 미 공군의 임무격렬도와 본 연구를 통해 제시된 임무격렬도 모델과의 차이점을 비교 분석하였다.

Table 5는 임무범주별 Nz Valley/Peak Occurrences 형태를 보여주고 있다. 비슷한 비행시간을 가진 A Category 임무와 B Category 임무를 비교해 보면, 낮은 Nz(0G~2G)영역에서는 발생횟수가 비슷하지만, 높은 Nz 영역으로 갈수록 A Category의 발생횟수가 B보다 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이와 같은 결과를 비행 임무의 진행측면에서 분석하면, 일반적으로 본격적인 임무는 항공기가 이륙하여 임무지역(또는 훈련공역이라고 부름)에 도착한 후에 실시한다. 이 때, 이륙 후 임무지역으로 진입하고, 임무 후 다시 기지로 귀환하는 과정을 입·출항과정이라고 하는데, 입·출항과정에서 항공기는 임무종류와 상관없이 주로 낮은 G영역(0~2G)으로 비행을 실시하기 때문이다.

Table 5. 임무범주별 임무격렬도

(a) Nz Valley/Peak Occurrences in A Category

G	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	0	0	0	151	7197	2963	1061	551	318	107	18	0	0	0	0
P	0	0	0	105	2973	4193	2618	1737	942	341	51	5	0	0	0

(b) Nz Valley/Peak Occurrences in B Category

G	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	0	0	0	135	8099	1565	224	97	39	7	0	0	0	0	0
P	0	0	0	143	3941	3355	1376	926	437	83	0	1	0	0	0

(c) Nz Valley/Peak Occurrences in C Category

G	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	0	0	0	72	5314	1405	301	133	69	16	1	2	0	0	0
P	0	0	0	36	2435	3048	1082	590	249	51	7	3	0	0	0

한편, 타 임무범주보다 비행시간이 약 100시간 이상 많은 C Category 임무는 오히려 7G이하에서는 발생횟수가 B Category와 비슷하거나 작은 것을 알 수 있다. 7G와 8G에서는 B보다 잦은 발생횟수를 볼 수 있는데, 이는 학생 조종사들의 훈련세부과목들 중 높은 기동성을 요구하는 공중조작 과목 등이 포함되어 있기 때문이다.

임무별 비행양상의 비교분석을 용이하게 하기 위해 비행시간이 상이한 세 임무의 Nz Valley/Peak Occurrences를 1000시간 기준으로 환산한 뒤, 이를 다시 Exceedances로 누적합산하여 그 결과를 Fig. 9와 같이 그래프로 표현하였다.

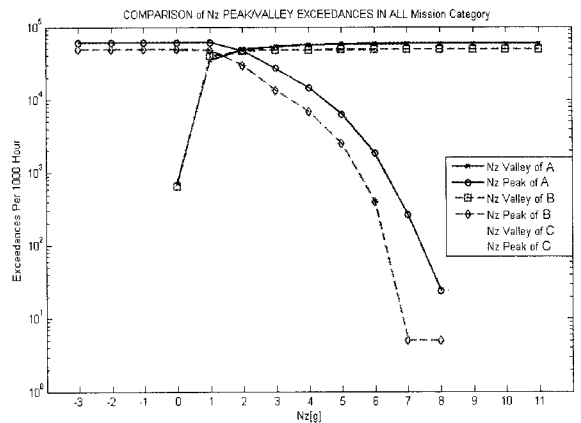


Fig. 9. 임무범주별 Nz Valley/Peak Exceedances Graph

맨 위의 실선 그래프가 A category 임무이며, 중간에 있는 실점선 그래프는 B category, 가장 아래에 있는 점선 그래프가 C category 임무를 나타낸다. 그래프가 위쪽에 분포할수록 Nz Peak/ Valley Exceedances(누적발생횟수)가 많다는 것을 의미한다. 그러므로 본 연구를 통해 우리나라 F-00 항공기의 임무범주별 임무격렬도는 A, B, C Category 순임을 확인할 수 있었다.

이와 같은 우리나라의 Category별 임무격렬도 결과를 미 공군의 임무범주별 임무격렬도와 비교하였다. 미 공군의 임무격렬도는 MIL-A-8866B(Airplane Strength and Rigidity Reliability Requirements, Repeated Loads and Fatigue)에 명시된 ‘임무수행단계별 하중 발생횟수’(Table 6)를 사용하였다. 한국공군과 미공군의 임무격렬도를 비교 분석한 결과 미 공군의 경우에도 B Category보다 A Category 임무에서 더 격렬하게 기동을 실시함을 알 수 있다.

Table 6. 미 공군 임무수행단계별 하중 발생횟수<sup>[5]</sup>

하중 범위	발생횟수(Occurrences)						
	상승	순항 비행	하강	선회 대기	B Category	무장 운용	A Category
Positive[G]							
2.0	5000	10,000	20,000	15,000	175,000	70,000	300,000
3.0	90	2,500	5,500	2,200	100,000	25,000	150,000
4.0	1	400	500	250	40,000	7,500	50,000
5.0		1	1	25	10,000	2,000	13,000
6.0				1	1,500	250	3,300
7.0					200	15	900
8.0					15	1	220
9.0					1		60
10.0							15

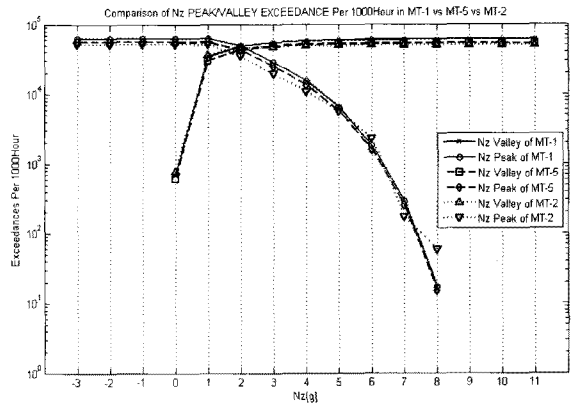
임무종류(Mission Type)별 임무격렬도 분석결과에서는 전체 Nz Peak Exceedances로 보면 MT-1임무의 임무격렬도가 가장 격렬하게 나타났으며, 그 다음이 MT-5, MT-2 등으로 나타났다. 임무특성상 비행 중 계기만을 참조하며 작은 기동 변화로만 비행해야 하는 MT-7 임무가 가장 적은 Exceedances를 보였다.

좀더 세부적인 비교를 위해 시간이 다른 임무종류별 임무격렬도를 다시 1000시간 기준으로 환산하여 그래프로 표현하였다. 명확한 비교를 위해 한 그래프에 모두 Data를 표현하지 않고, 임무격렬도가 비슷한 임무 종류별로 두 개의 그래프로 나누어 작성하였다. 먼저 Fig. 10은 MT-1, MT-2, MT-5를 비교한 그래프이며, Fig. 11은 상대적으로 임무격렬도가 낮은 MT-6, MT-7, MT-8을 비교한 그래프이다.

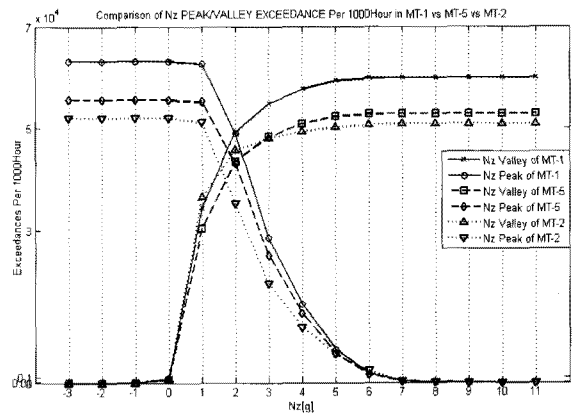
MT-1, MT-2, MT-5 세 임무는 누적발생횟수의 차이가 크지 않아 지수(log)형태로 표현된 Fig. 10의 (a) 그래프에서는 임무격렬도의 차이를 확인하기 어려웠다. 그러나 지수(log)형태로 표현된 그래프를 (b)와 같이 선형(linear)형태의 그래프로 표현한 결과 서로 다른 임무별 임무격렬도의 차이를 쉽게 알 수 있었다. 가장 위의 실선이 MT-1의 Nz Peak/Valley Exceedances 그래프이며, 가운데에 위치한 실점선 그래프가 MT-5, 가장 하단의 점선 그래프가 MT-2임무를 나타낸다.

Fig. 11에 표현된 세 임무는 지수(log)형태의 그래프 상에서도 MT-8, MT-6, MT-7 순으로 누적발생횟수가 확연한 차이를 보인다.

따라서, F-00항공기의 운영특성을 반영한 한국공군의 임무종류별 임무격렬도는 MT-1 > MT-5 > MT-2 > MT-8 > MT-6 > MT-7 임무 순임을 알 수 있다.



(a) Log형태 그래프



(b) Linear형태 그래프

Fig. 10. 임무종류별 Nz Exceedances 비교 : MT-1 vs MT-2 vs MT-5

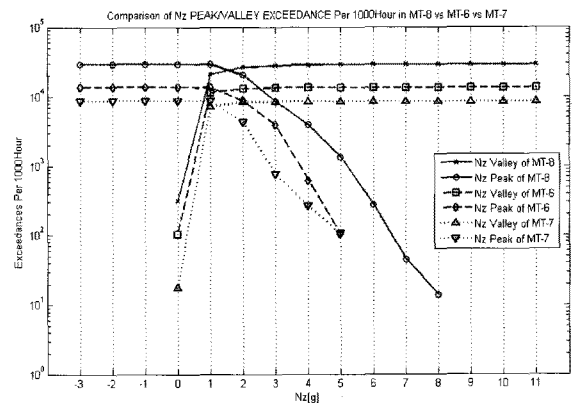


Fig. 11. 임무종류별 임무격렬도 비교 : MT-8 vs MT-6 vs MT-7

서로 다른 임무격렬도는 항공기 구조의 피로균열 성장에 미치는 영향이 다르게 나타난다. 따라서 동일한 비행시간을 운영한 항공기라도 공대공 임무 등과 같이 임무격렬도가 높은 비행에 자주 투입된 항공기일 수록 구조적인 보강작업이 자주 요구되며, 사용수명(Service Life)도 상대적으로 단축될 수 있는 가능성이 높다. 이와 같은 이유로 개발 항공기에 대하여 다양한 상황의 Mission Mixture를 제공하는 것이 중요하다. 상황별 Mission Mixture와 임무범주/종류별 임무격렬도는 기존의 운용특성을 반영하는 것으로 충분하나, 향후 미래 전장환경에서 예상되는 새로운 운용조건 등을 예측하고, 반영하는 것도 매우 중요하다.

마지막으로 종합적인 분석된 한국공군의 F-00 항공기의 임무격렬도는 Table 7과 같다.

F-00 항공기의 임무격렬도를 미공군의 F-16 항공기와 비교하기 위해 다음과 같은 추가적인 연구가 수행되었다.

먼저 F-00 항공기의 임무격렬도를 1,000 비행시간을 기준으로 재 산정하였다(Table 8 참조). 또한 F-00 항공기 설계시 적용된 F-01 항공기와 미공군의 F-16 항공기의 임무격렬도를 각각 Table 9와 10과 같이 1,000 비행시간 기준으로 작성하였다.

Table 7. Nz Valley/Peak Exceedances Per 758 hour of F-00

G	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	0	0	0	358	20968	26901	28487	29268	29694	29824	29843	29845	29845	29845	29845
P	30728	30728	30728	30728	30444	21095	10499	5423	2170	542	67	9	0	0	0

Table 8. Nz Valley/Peak Exceedances Per 1000 hour of F-00

G	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	0	0	0	472	27643	35464	37555	38585	39146	39318	39343	39345	39345	39345	39345
P	40509	40509	40509	40509	40135	27810	13841	7149	2861	715	88	12	0	0	0

Table 9. Nz Valley/Peak Exceedances Per 1000 hour of F-01

G	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	0	2	4	276	26242	35634	37290	38084	38314	38314	38314	38314	38314	38314	38314
P	37280	37280	37280	37280	37266	33468	18150	9930	4206	1158	166	14	2	0	0

Table 10. Nz Valley/Peak Exceedances Per 1000 hour of US F-16

G	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	0	0	12	1332	44539	55361	57783	58599	58907	59005	59023	59025	59025	59025	59025
P	57967	57967	57967	57967	57941	46163	27310	14364	6470	2638	888	190	10	0	0

Fig. 12는 앞서 작성된 Table 8, 9, 10의 Data를 그래프로 상호 비교한 결과를 보여주고 있다. 본 연구의 대상인 F-00과 미 공군 F-16의 임무격렬도는 많은 차이를 보여주고 있다. 반대로 F-00 항공기 개발 시 적용된 F-01항공기 임무격렬도와는 근소한 차이만 있는 것을 알 수 있다.

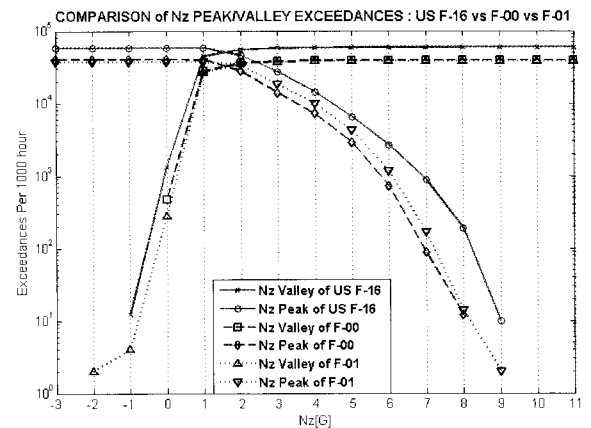


Fig. 12. 임무격렬도 비교 : US F-16 vs F-01 vs F-00

Table 11. 미 공군과 한국공군의 전투기 운용특성의 비교

구 분	미 공군	한국 공군	비 고
실전투입 유무	있음	없음	실전임무시 임무격렬도 증가
비행 시간	189 시간	132 시간	조종사 1인당 비행시간 기준
임무진행 방식	복합 임무	단일 임무	한 번의 비행시 두 종류 이상의 임무 실시

Fig. 12에서와 같이 미 공군과 한국공군의 임무격렬도의 차이가 발생하는 원인은 앞서 말했듯이 국가간 운용특성의 차이에서 기인된다. 두 나라간 운용특성의



차이는 Table 11과 같이 크게 세 가지 측면으로 분석할 수 있다.

첫째, 실전투입의 유무이다. 미 공군의 F-16(Blk-32)은 1991년 걸프전에서 13,500초타의 임무를 실시하였으며, 그 이후에도 2001년 아프가니스탄전, 이라크전 등 여러 번 실전에 투입되었다. 그 결과 Fig. 13과 같이 평소보다 매우 높은 임무격렬도를 보이게 되었다. Fig. 13은 임무격렬도를 ‘ $\Delta NzW$ ’로 표현한 그래프로써 200,000lbs이상의  $\Delta NzW$ 의 누적발생횟수를 기준으로 걸프전(Desert Shield/Storm) 당시의 발생횟수가 1990년, 1991년, 1992년보다 약 2배 이상 증가했음을 보여주고 있다. 참고로 1992년 이후 임무격렬도가 걸프전 수준에 가깝게 상승하는 것은 걸프전 경험을 바탕으로 미 공군에서는 훈련시 더욱 강도 높은 기동을 실시했기 때문이다.

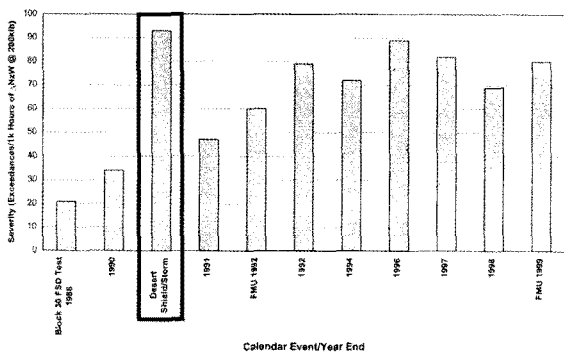


Fig. 13. 미 공군 F-16의 연도 및 상황별 임무격렬도<sup>[6]</sup>

이와 같이 실전에서 임무하는 항공기는 개발기준 또는 평소보다 높은 임무격렬도를 겪게 되며, 그만큼 항공기 구조의 균열상장은 빠르게 진행된다. 미 공군과는 달리 한국공군의 전투기들은 아직까지 실전에서 임무한 적이 없는 운용특성의 차이를 갖고 있다.

하지만 한국형 전투기를 개발하는 과정에서는 전사의 기동조건을 고려하여 기체 설계시 반영이 필요하다. 위에서 제시된 미 공군의 경우처럼 실전에 투입된 항공기의 임무격렬도 증가추이도 함께 감안하여 최적의 임무격렬도 모델 개발이 선행되어야 할 것이다.

둘째, 비행자원의 차이이다. 비행자원이라 함은 조종사, 항공기, 비행연료 및 항공탄약 등을 통합하여

일컫는 용어으로써, 국방예산과 많은 연관이 있다. 특히, 비행연료와 항공탄약과 같은 소모성 자원은 당해연도 예산변화나 유가변화 등에 민감한 요소들이며, 조종사의 비행시간 즉, 항공기 가동시간에 영향을 미치게 된다. 같은 기간 동안 서로 다른 항공기 비행시간의 차이는 임무격렬도의 차이로 연결된다. 더욱이 근래 들어 지속되는 고유가 상황은 한국공군에게 있어서는 큰 부담이 되고 있으며, 그로 인해 최근 3년간 한국공군 전투기 조종사 1인당 훈련시간은 2005년 134시간, 2006년 134시간, 2007년 132시간 등 평균 약 133시간에 머무르고 있다<sup>[7]</sup>. 반면 미 공군 전투기 조종사는 연평균 1인당 189시간을 비행하고 있다.

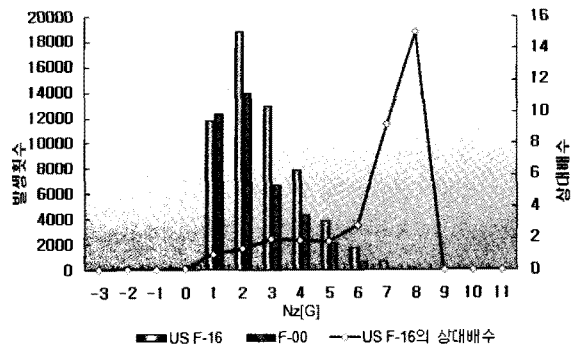


Fig. 14. Nz Peak Occurrences 비교 : US F-16 vs F-00

셋째, 임무진행방식의 차이를 들 수 있다. 미 공군은 한 번의 비행에서 두 종류 이상의 임무를 진행한다. 즉, 공대지 사격(Surface Attack)을 실시한 후 기지로 귀환하기 전, 공대공 전투기동(Air Combat Maneuver)을 실시하는 등의 복합임무 진행방식을 의미한다. 현재 우리나라의 KF-16 운용부대에서도 복합임무를 실시하고 있지만 공대지 임무(Surface Attack Tactics)를 주 임무로 수행하면서 공대공 임무는 부분적으로 병행하는 제한적인 수준에 있다. 본격적인 임무가 시작되면 5G 이상의 높은 하중영역에서 기동이 이루어지기 때문에 복합임무는 단일임무시보다 임무격렬도 상승 효과를 유발시킨다. 실질적으로 미 공군의 F-16과 F-00의 Nz Peak Occurrences(발생횟수)를 비교한 Fig. 14의 그래프를 보면, 미 공군 F-16의 발생횟수가 F-00보다 5G이하에서는 2배 이하의 차이를 보이다가 6G이상에서는 약 3배, 9배, 15배로 급격히 증가함을 볼 수 있다. 하지만 복합임무는 NCW 등 미래 전장 환경을 고려 시 한국공군에서도 추진되어야 할 훈련방식이다. 따라서 앞으

1) 임무격렬도를 표현하는 한 수단으로써 Nz Peak값과 해당 Peak값이 발생했을 당시의 항공기 중량을 곱한 값

로 한국형 전투기의 임무격렬도를 개발함에 있어 복합임무수행 등 미래 운용조건 변화 등을 반드시 반영해야 한다.

위와 같은 분석결과를 비추어 볼 때 경제적이고 신뢰성 있는 차기 국산전투기 개발을 위해서는 한국공군의 운용조건이 반영된 임무격렬도 모델 개발이 중요하며, 본 논문을 통해 도출된 F-00 항공기의 임무격렬도가 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구는 한국형 전투기 개발을 위한 한국공군 임무격렬도 분석을 목적으로 임무격렬도의 이론적 고찰과 함께 항공기 구조 수명관리 절차와 임무격렬도의 상관관계 등을 알아보았다. 실질적인 임무격렬도 모델 개발을 위해 현재 운용중인 F-00항공기 비행자료를 바탕으로, 임무범주 및 임무종류별 Nz Peak/Valley Exceedances 등을 분석하였다. 또한, 현 한국공군의 운용특성이 반영된 종합적인 임무격렬도 모델을 제시하고, 미 공군 F-16 항공기와 한국공군 F-00 항공기의 임무격렬도를 비교함으로써 국가간 운용특성의 차이를 구체적으로 살펴보았다.

임무격렬도는 비행 중 항공기 구조물, 특히 날개와 동체의 접합부 등 주요 피로취약부위(FCL : Fatigue Critical Location)에 작용하는 수직하중 Nz에 대하여 하중배수(-3G~11G)별 Peak/Valley의 누적발생횟수(Exceedances)로 표현된다.

임무격렬도는 동일 항공기라도 조종사, 임무, 운용환경 등에 따라 다르게 나타나며, 크기는 국가별 운용특성에 따라서도 차이가 있다. 따라서 경제적이고 효과적인 국산전투기 개발과 운영을 위해서는 한국공군의 운용특성이 반영된 임무격렬도 개발이 필수적이다.

손상허용설계개념의 항공기 구조 건전성 프로그램(ASIP)은 크게 설계정보, 설계해석 및 개발시험, 전기체 구조시험, 인증 및 군 운용관리방법 개발, 군 운용관리까지 5단계로 구분된다. 초기 설계해석 및 개발시험 단계(Task II)에서 이루어지는 손상허용해석 과정에서는 이전의 임무격렬도를 기초자료로 사용하여 차기 항공기에 적용할 새로운 임무격렬도를 개발한다. 군 운용관리 단계(Task V)에서는 개별 항공기들의 비행자료를 수집하고 임무격렬도를 분석함으로써 각 항

공기들의 균열성장을 판단하고 그에 따라 구조정비계획 등을 재수립한다. 한편, 수집된 각 항공기들의 임무격렬도는 종합되어, 해기종의 기골보강 작업에 새로운 기준으로 적용되거나 차기 항공기 개발에 필요한 기초자료로 활용된다.

한국공군의 운용특성이 반영된 임무격렬도 등을 분석하기 위해 과거 10년간의 F-00의 비행자료를 Matlab을 이용하여 Data 처리를 수행하였다. 임무범주별 임무격렬도는 A, B, C Category임무 순이었으며, 임무종류별 임무격렬도는 MT-1, -5, -2, -8, -6, -7임무 순으로 나타났다.

다음으로 한국공군 F-00항공기의 종합 임무격렬도를 제시하였다. 제시된 임무격렬도 모델은 미 공군과 많은 차이를 보여, 운용국의 특성에 맞는 임무격렬도 개발의 필요성을 확인하게 되었다.

다소 제한된 비행 Data가 사용된 본 연구결과는 향후 한국형 전투기(KF-X)의 개발시에는 많은 양의 Data를 포함하여 구체화하는 작업이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 항공기 소요군이 요구하고자 하는 임무격렬도를 구체적이고 정략적으로 제시할 수 있는 기초를 마련하는 것에 큰 의미가 있다고 하겠다. 본 연구결과를 통해 운용자인 공군에게는 항공기 구조 수명관리와 임무격렬도에 대한 관심이 제고되고, 개발자에게는 현 한국공군의 운용특성이 반영될 수 있는 기초자료로 활용되기를 바란다.

## Reference

- [1] 박문규, “항공기 구조 설계”, 경문사, pp. 4~7, 2001.
- [2] MIL-STD-1530C, Aircraft Structural Integrity Program, US DoD, p. 8, 2004.
- [3] MIL-STD-1530C, Aircraft Structural Integrity Program, US DoD, p. 9, 2004.
- [4] 안병곤, “항공기 수명관리 발전방향에 관한 연구”, 공군대학, pp. 10~16, 2001.
- [5] Jason. T. Hughes, “ROKAF F-01 Force Management Update 2005 Airframe Service Spectra Report”, Lockheed Martine Corporation, p. 3, 2006.
- [6] MIL-A-8866B, Airplane Strength and Rigidity Reliability Requirements, Repeated Loads and Fatigue, US DoD, 1975.
- [7] 연합뉴스, 2008. 10. 6일자 보도내용.